



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Joonas Kauppinen

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien vertailu hankesuunnitteluvaiheessa

Teknillinen tiedekunta
Diplomityö
Energiatekniikka

Vaasa 2020

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

Tekijä:	Joonas Kauppinen
Tutkielman nimi:	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien vertailu hankesuunnittelu- vaiheessa
Tutkinto:	Diplomi-insinööri
Oppiaine:	Energia- ja informaatiotekniikka
Työn valvoja:	Seppo Niemi
Työn ohjaaja:	Anne Mäkiranta
Valmistumisvuosi:	2020
	Sivumäärä: 73

TIIVISTELMÄ:

Kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteena Suomelle on lisätä uusiutuvan energian käyttöä niin, että sen osuus energian loppukulutuksesta nousee vähintään yli 50 prosenttiin 2020-luvun aikana. Kasvihuonepäästöjen vähentämisen tavoitteena on yli 40 prosenttia 1990 tasoon verrattuna. Pidemmän aikavälin tavoitteena on, että Suomen energiajärjestelmä muuttuisi hiilineutraaliksi ja perustuisi pääsääntöisesti uusiutuviin energialähteisiin. Tavoitteen saavuttamiseksi Suomen tulee lisätä hajautettua ja paikallista energiantuotantoa merkittävästi.

Työn tavoitteena oli tutkia uusiutuvien energialähteiden hyödyntämismahdollisuuksia ja taloudellisuutta kaupunkiolosuhteissa toimitilakohteissa, asuinrakennuksissa ja hybridikohteissa. Tavoitteena oli myös luoda laskentatyökalu, jonka avulla voidaan vertailla eri järjestelmien elinkaarikustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä tehokkaasti. Työkalua sovellettiin tämän työn yhteydessä kahdessa kohteessa, joista toinen on hybridirakennus ja toinen kohde opetusrakennus. Hybridirakennuksessa alemmissa kerroksissa on liiketiloja sekä toimistoja ja ylemmissä kerroksissa asuntoja.

Tutkimustuloksista saatiin paljon tietoa energiantuotantovaihtoehtojen elinkaari- ja investointikustannuksista sekä niiden ympäristövaikutuksista. Vaikka maalämmön ja maakylmän investointikustannukset olivat vertailussa suurimmat, niin osoittautui yhdistelmä 25 vuoden elinkaarivertailussa kaikkein edullisimmaksi vaihtoehdoksi. Maalämmön ja maakylmän yhdistelmä saavutti muut järjestelmät kustannuksissa viimeistään noin 10 vuoteen mennessä. Molemmissa tutkimuskohteissa maalämmön ja maaviileän yhteisjärjestelmä aiheutti myös vähiten hiilidioksidipäästöjä.

Tutkimuksen perusteella paikallinen energiantuotanto voi olla taloudellisesti kannattavaa verrattuna kaukolämpöön. Esimerkkikohteissa kaukolämpö yksinään oli kaikista kallein vaihtoehto muihin järjestelmiin verrattuna. Paikallisen energiantuotannon avulla voidaan lisätä uusiutuvan energialähteiden hyödyntämistä ja edesauttaa asetettujen energiatavoitteiden saavuttamista.

AVAINSANAT: kaukolämpö, maalämpö, lämpöpumppu, aurinkolämpö, bioenergia, hiilidioksidipäästöt, elinkaarikustannukset

UNIVERSITY OF VAASA**Unit of technology and innovation management**

Author: Joonas Kauppinen
Topic of the Thesis: Comparison of heating and cooling systems in the project design phase
Degree: Master of Science in Technology
Degree programme: Energy and information technology
Supervisor: Seppo Niemi
Instructor: Anne Mäkiranta
Year of graduation: 2020 **Number of pages:** 73

ABSTRACT:

The aim of the National Energy and Climate Strategy for Finland is to increase the use of renewable energy so that its share of final energy consumption will reach at least more than 50% during the 2020s. The target for reducing greenhouse gas emissions is over 40% compared to 1990 levels. The long-term goal is for the Finnish energy system to become carbon-neutral and, as a rule, based on renewable energy sources. To achieve this, Finland needs to increase its decentralized and local energy production significantly.

The aim of the thesis was to research the feasibility and economic efficiency of renewable energy sources in urban, commercial and hybrid buildings. Another aim was to create a computational tool that can effectively compare life-cycle costs and carbon dioxide emissions of different systems. The tool was applied in connection with this work at two sites, one of which is a hybrid building and the other is an educational building. In the hybrid building, the lower floors have retail space and offices, and the upper floors have flats.

The research results provided a wealth of information on the life-cycle and investment costs of energy production options and their environmental impact. Although the cost of investing geothermal and ground cold was the highest in the comparison, the combination proved to be the most cost-effective option in a 25-year life cycle comparison. The combination of geothermal and ground cold reached other systems at cost by about 10 years at the latest. In both studies, the combined system of geothermal and geothermal energy also produced the least carbon dioxide emissions.

According to the study, local energy production can be economically viable compared to district heating. In the examples, district heating alone was the most expensive option compared to other systems. Local energy production can increase the use of renewable energy sources and contribute to the set energy targets.

KEYWORDS: district heating, geothermal, heat pump, solar heat, bioenergy, carbon dioxide emissions, life cycle costs

Sisällys

1	Johdanto	8
1.1	Tutkimuksen tausta	8
1.2	Työn tavoitteet	9
1.3	Tutkimuksen rajaus ja rakenne	9
2	Energiaratkaisuihin liittyvät tavoitteet ja määräykset	11
2.1	EU:n energiatavoitteet	11
2.1.1	Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD)	12
2.1.2	Uusiutuvan energian direktiivi (RED II)	13
2.1.3	Energiatehokkuusdirektiivi (EED)	14
2.2	Suomen rakentamismääräykset energiatehokkuuden osalta	14
2.3	Ympäristöluokitukset	17
3	Energianjakelu	20
3.1	Energiantuotantomallit	20
3.2	Rakennuksen energiatase	22
3.3	Energiaratkaisut kaavoitusvaiheessa	25
4	Energiantuotantomuotojen ratkaisut alustavassa suunnittelussa	28
4.1	Kaukolämpö ja kaukojäähdytys	28
4.1.1	Kaukolämpö	28
4.1.2	Kaukojäähdytys	30
4.2	Lämpöpumput	32
4.2.1	Maalämpöpumppu ja maakylmä	35
4.2.2	Ilmalämpöpumppu	37
4.2.3	Ilma-vesilämpöpumppu	38
4.2.4	Poistoilmalämpöpumppu	39
4.2.5	Vedenjäähdytyskone	40
4.3	Bioenergia	41
4.4	Aurinkoenergia	42
4.4.1	Aurinkolämpö	43

5	Laskentaperiaatteet ja rajaukset	46
5.1	Elinkaarikustannukset	46
5.2	Lähtötiedot	47
5.3	Laskentaperiaatteet	47
5.4	Hiilidioksidipäästölaskenta	48
5.5	Laskentatyökalu	50
5.6	Tulosten virhearviointi	51
6	Esimerkkikohteiden tulokset ja niiden tarkastelu	52
6.1	Esimerkkikohde 1	52
6.1.1	Elinkaarikustannusvertailu	53
6.1.2	Hiilidioksidipäästövertailu	56
6.2	Esimerkkikohde 2	58
6.2.1	Elinkaarikustannusvertailu	59
6.2.2	Hiilidioksidipäästövertailu	62
7	Johtopäätökset	65
8	Yhteenveto	66
	Lähteet	68
	Liitteet	72
	Liite 1. Rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä tilojen lämmitykseen	72
	Liite 2. Rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä käyttöveden lämmitykseen	73

Kuvat

Kuva 1. Sertifioidut rakennushankkeet (Energiateollisuus ry, 2017)	18
Kuva 2. Rakennuksen energiatase ja taserajat (YM 2017b)	23
Kuva 3. Rakennuksen energiatehokkuuden muodostuminen (Vinha ja muut, 2019)	24
Kuva 4. Ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus (Lylykangas ja muut, 2013)	26
Kuva 5. Meno- ja paluuveden lämpötilavaihtelut (Pöyry Oy, 2018)	29
Kuva 6. Kaukojäähdytyksen myynti (Energiateollisuus ry, 2019)	31
Kuva 7. Energiamuotojen vuorovaikutus (Pöyry Oy, 2018)	32
Kuva 8. Suomeen myydyt lämpöpumput, kumulatiivinen (SULPU, 2018)	33
Kuva 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Pöyry Oy, 2018)	34
Kuva 10. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate (Motiva, 2019d)	44
Kuva 11. Järjestelmien investointikustannukset	54
Kuva 12. Elinkaarikustannusten kertyminen 25 vuoden ajalta, kumulatiivinen	55
Kuva 13. Järjestelmien hiilidioksidipäästövertailu	57
Kuva 14. Hiilidioksidipäästöt elinkaaren ajalta, kumulatiivinen	58
Kuva 15. Järjestelmien investointikustannukset	60
Kuva 16. Aurinkolämpöjärjestelmien elinkaarikustannukset, kumulatiivinen	61
Kuva 17. Elinkaarikustannusten kertyminen 25 vuoden ajalta, kumulatiivinen	62
Kuva 18. Järjestelmien hiilidioksidipäästöt vuoden ajalta	63
Kuva 19. Järjestelmien hiilidioksidipäästöt elinkaaren ajalta, kumulatiivinen	64

Taulukot

Taulukko 1. Rakennuksissa käytettävät energiamuotojen lukuarvot (VN, 2017b).	15
Taulukko 2. Rakennuksen E-luvun raja-arvot (YM, 2017a).	16

Symboli- ja lyhenneluettelo

BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method, rakennusten kansainvälinen ympäristöluokitus.
CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto
CO₂	Hiilidioksidi
EED	Energy Efficiency Directive, energiatehokkuusdirektiivi
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive, rakennusten energiatehokkuusdirektiivi
FInZEB	Nearly zero energy buildings in Finland, Suomen määritelmä lähes nollaenergiarakennuksesta.
IDA ICE	IDA indoor climate and energy -simulointiohjelma
IFC-malli	Rakennuksen tietomalli
IVLP	Ilma-vesilämpöpumppu
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design, yhdysvaltalainen, kansainvälinen ympäristötehokkaiden kiinteistöjen sertifiointijärjestelmä
MLP	Maalämpöpumppu
RED II	Renewable Energy Directive, uusiutuvan energian direktiivi
VJK	Vedenjäähdytyskone
Q	Energiatarve

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Energiankulutus kasvaa maailmassa jatkuvasti, joten energiatehokkuuden parantamiseen täytyy panostaa sekä pyrkiä hyödyntämään yhä enemmän uusiutuvia energialähteitä. Energiatoimialalla on käynnissä liiketoiminnallinen ja teknologinen muutos kohti uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä, mikä käsittää energiayhtiöiden tekemät muutokset lämmön ja sähkön tuotantoon sekä energian omatuotannon toteutuksen uusiutuvilla energialähteillä. Tulevaisuudessa odotetaan hajautetun ja keskitetyn energian tuotannon toimivan markkinoilla rinnakkain sekä uusien toimijoiden tulemistä markkinoille.

Rakennusten energiatehokkuudessa on vielä paljon parannuspotentiaalia, sillä etenkin Suomessa lämmitykseen kuluu paljon energiaa kylmästä ilmastosta johtuen. Suomessa rakennusten lämmitys- ja sähköenergian tarve kattaakin noin 40% kaikesta energiankulutuksesta. Rakennusten lämmitysenergian osuus energian loppukäytöstä on yksinään noin 25% (TK, 2018). Tämän vuoksi lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämisellä on merkittävä osuus energiatuotannon kokonaispäästöjen vähentämisessä.

Uudisrakentamisen yhtenä tavoitteena on panostaa uusiutuviin energianlähteisiin perustuvien pientuotantomuotojen liittämiseen osaksi rakennustekniikkaa ja energiajärjestelmiä. Tällaisia useita energianlähteitä hyödyntäviä järjestelmiä kutsutaan hybridijärjestelmiksi. Tarkoituksena on hyödyntää kunkin tuotantomuodon parhaat puolet ja olosuhteet esimerkiksi vuodenajan tai vuorokauden ajan mukaan. Energiantuotantomuotoja voi olla useampikin vuorottelemassa tai samanaikaisesti käytössä. Etuna hybridijärjestelmillä on myös rakennuksen toimintavarmuuden paraneminen sekä kustannussäästöt.

Viime vuosien aikana rakennuksien energiatehokkuuteen onkin kiinnitetty paljon huomiota ja rakentamismääräyksiä on tiukennettu energiakulutuksen osalta. Uudet rakennukset pärjäävät yhä vähemmällä energialla, mutta sen lisäksi on hyvä kehittää

energiantuotantoa tehokkaampaan ja enemmän uusiutuvia energialähteitä hyödyntävään suuntaan. Uudisrakentamisessa voidaan nähdä olevan enemmän vaihtoehtoja energiaratkaisuja mietittäessä, mutta toisaalta tiukentuneet vaatimukset rajoittavat jossain määrin käytettävissä olevia mahdollisuuksia.

Tulevaisuudessa tarvitaan uusia energiaratkaisuja, joilla voidaan kattaa energiatarpeet, sekä saavuttaa ympäristölliset ja taloudelliset tavoitteet. Tällaisessa tilanteessa ei ole aina selvää, miten energiatehokkuuteen liittyvät ratkaisut tulisi valita mahdollisimman tehokkaasti. Jotta laajempaa muutosta voidaan saada aikaiseksi sekä uudis- että korjausrakentamisessa, tarvitaan muutoksia totuttuihin rakentamistapoihin ja malleihin.

1.2 Työn tavoitteet

Diplomityön tavoitteena oli selvittää uusiutuvien energialähteiden käyttöönottomahdollisuuksia ja taloudellisuutta pääkaupunkiseudulla toimitilakohteissa, asuinrakennuksissa sekä erilaisissa hybridihankkeissa. Aiemmin rakennusten lämmitysenergia on ollut pääkaupunkiseudulla pääosin kaukolämmön varassa, ja nyt tarkoitus oli tutkia alustavia vaihtoehtoja kaukolämmön oheen tai korvaajaksi. Selvitystyön tuloksena yritykselle jää myös työkalu, jonka avulla voidaan kartoittaa alustavasti hyödynnettävät energialähteet ja järjestelmät ja verrata niitä jo hankesuunnitteluvaiheessa.

Alustavasti järjestelmien valintaperusteina käytetään järjestelmien elinkaarilaskelmia, hiilidioksidipäästöjä, rakennustyyppien erityispiirteitä ja arvioituja energiantarpeita. Lisäksi alustavassa suunnittelussa on otettava huomioon järjestelmien mahdollisuudet ympäristön suhteen. Esimerkiksi maalämpöpumppuja rajoittava tekijä on usein lämmönkeruukaivojen vaatima tila.

1.3 Tutkimuksen rajaus ja rakenne

Työ rajattiin koskemaan rakennusten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä, joten sähkön-
tuotantojärjestelmiin ei perehdytty. Työssä tutkittiin eri vaihtoehtoja uudisrakentamisen

lisäksi myös korjausrakentamisen puolella. Rakennuskannan uusiutuminen on varsin hidas, joten ottamalla korjausrakentaminen huomioon voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä.

Energiajärjestelmien valinta on usein monimutkainen tehtävä, jota voidaan tarkastella monista eri näkökulmista. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät voivat myös koostua useasta eri lämmitys- ja jäähdytystavasta, jolloin niitä kutsutaan hybridijärjestelmiksi. Tällaiseen järjestelmään investoiminen on perusteltua, mikäli voidaan saavuttaa parempi suorituskyky perinteiseen järjestelmään verrattuna.

Tässä työssä eri järjestelmiä analysoitiin ensisijaisesti taloudellisuuden sekä ympäristövaikutusten perusteella ja toissijaisesti rakennusten ominaispiirteiden kautta. Taloudellisuutta tarkastellaan järjestelmien elinkaarikustannuksien pohjalta. Teknologioiden kehitystä tutkittiin globaalisti, mutta soveltuvuutta tarkasteltiin lähinnä Etelä-Suomen kaupunkiympäristössä. Tutkimuskohteet oli rajattu koskemaan pääasiassa kaupunkialueiden ison kokoluokan kiinteistöjä, kuten asuinkerrostaloja ja toimitilakohteita.

Työ on jaettu johdanto mukaan lukien kahdeksaan lukuun. Luvussa 2 käydään läpi nykyisiä energiaratkaisuihin liittyviä tavoitteita, linjauksia ja määräyksiä EU:n sekä Suomen näkökulmista. Luvussa 3 keskitytään energianjakeluun, rakennuksen energiataseeseen sekä energiatuotantomuotojen huomioimiseen kaavoitusvaiheessa. Luvussa 4 käsitellään eri järjestelmien toimintaperiaatteita sekä niiden tuomia etuja haasteita. Luvuissa 5 ja 6 esitellään laskentaperiaatteet ja selostetaan laskentatyökalun pilotointi esimerkkikohteissa. Lopuksi luvuissa 7 ja 8 käydään läpi tuloksien johtopäätökset ja yhteenveto.

2 Energiaratkaisuihin liittyvät tavoitteet ja määräykset

Suomi on yksi maailman johtavia maita uusiutuvien energialähteiden hyödyntämisessä. Uusiutuvien energialähteiden keskeisimpänä tavoitteena on kasvihuonekaasujen vähentäminen ja irrottautuminen uusiutumattomiin polttoaineisiin perustuvasta energiajärjestelmästä. Uusiutuvien energialähteiden käyttö lisää myös Suomen energiaomavaraisuutta, sekä lisää työllisyyttä ja teknologian kehitystä.

Uusiutuvien energialähteiden osuus energian kokonaiskulutuksesta on Suomessa lähes 40 prosenttia (TK, 2018). Kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteena on lisätä uusiutuvat energian käyttöä niin, että sen osuus energian loppukulutuksesta nousee yli 50 prosenttiin 2020-luvun aikana. Pidemmän aikavälin tavoitteena on, että Suomen energiajärjestelmä muuttuisi hiilineutraaliksi ja perustuisi pääsääntöisesti uusiutuviin energialähteisiin (VN, 2017a).

2.1 EU:n energiatavoitteet

Vuodelle 2030 asetetussa kolmen tavoitteen paketissa päästötavoite on ohjaava tekijä ja kaksi muuta tavoitetta tukevat sitä. Uusiutuvan energian tavoite on sitova EU-tasolla, mutta energiatehokkuustavoite on ohjeellinen EU-tasolla. Pitkän aikavälin tavoitteena EU:lla on vähentää päästöjä vuoteen 2050 mennessä jopa 80-95% verrattuna vuoden 1990 tasoon (TEM, 2019).

Euroopan Unionin keskeisimmät energiatavoitteet vuoteen 2030 mennessä: (TEM, 2019)

- Kasvihuonepäästöjen vähennys vähintään 40 prosenttia vuoden 1990 tasosta
- Uusiutuvien energialähteiden osuus vähintään 32 prosenttiin loppukulutuksesta
- Vähintään 27 prosentin lisäys energiatehokkuuteen verrattuna vuoden 2007 arvioituun kehityspolkuun nähden

Suomessa rakennusten energiatehokkuutta ohjaa paljon EU:n määrittelemät standardit ja ohjeet. Kun uusi direktiivi astuu voimaan, on jäsenmaiden tehtävä direktiivin edellyttämät lainmuutokset määritettyyn aikamääreeseen mennessä. Keskeisimmät rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat direktiivit ovat Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD), Uusiutuvan energian edistämistä koskeva direktiivi (RED II) ja Energiatehokkuusdirektiivi (EED). Direktiiveistä on tähän työhön poimittu direktiivien keskeisimmät asiat ja määräykset rakennusalaan koskien.

2.1.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD)

Rakennusten energiatehokkuus direktiivin tavoitteena on vähentää rakentamisen hiilijalanjälkeä parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Vuonna 2018 voimaan tulleen direktiivimuutoksen tarkoitus on nopeuttaa olemassa olevien rakennusten kustannustehokkaita peruskorjauksia ja lisätä älykkään teknologian käyttöä rakennuksissa. Direktiivin vaikutukset näkyvät sekä uudis- että korjausrakentamisen puolella (Motiva, 2019b).

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD on edellyttänyt, että vuoden 2019 alusta lähtien kaikkien julkisten rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Vuoden 2020 päättyessä määräys kattaa julkisten rakennusten lisäksi myös kaikki uudet rakennukset (EP, 2018a). Direktiivin määritelmä ”lähes nollaenergiarakennuksesta” jättää melko suuren tulkintavaran kansalliseen määrittelyyn. Direktiivin edellytyksenä rakennuksella tulisi olla erittäin korkea energiatehokkuus, sekä lähes olemattoman tai erittäin vähäisen energiamäärän laajalti kattaminen uusiutuvista lähteistä olevalla energialla. Direktiivi edellyttää kutakin jäsenvaltiota määrittämään omat kustannusoptimaaliset tasonsa, sekä päivittämään uudisrakennuksille asetut vaatimukset vähintään viiden vuoden välein (EP, 2018a).

Vuoden 2018 muutosdirektiivissä asetetaan vaatimuksia myös lämmitys- että ilmastointijärjestelmien ja näiden yhdistelmien pakollisille tarkastuksille. Kyseinen tarkastusmenetelmä on havaittu aiemmin puutteelliseksi sekä toimimattomaksi ilmastointijärjestelmien kohdalla ennen vuotta 2013 ja kattilatarkastusten yhteydessä ennen vuotta 2010.

Direktiivi mahdollistaa pakollisille tarkastuksille vaihtoehtoisen menetelmän, mikäli sillä saavutetaan vähintään sama energiansäästövaikutus kuin tarkastuksilla. Vaihtoehtoisina menetelminä on ehdotettu muun muassa neuvonta-aineiston laajentamista kattamaan uudet asetukset ja lait, tarkastusten liittämistä osaksi nykyistä vapaaehtoista tarkastus- ja huoltotoimintaa sekä eri alojen ammattilaisten energiatehokkuusneuvonta osaksi koulutusta (Motiva, 2019a).

2.1.2 Uusiutuvan energian direktiivi (RED II)

Uusiutuvan energian direktiivin tavoitteena on varmistaa, että vuoteen 2030 mennessä EU:n energiankäytöstä vähintään 32 prosenttia tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä. Uudessa RED II -direktiivissä ei enää aseteta maakohtaisia tavoitteita, vaan jäsenmaat varmistavat yhteisesti, että 32 prosentin tavoite saavutetaan vuoteen 2030 mennessä (EP 2018b). Suomen tavoitteeksi tulee arviolta 50 prosenttia vuoteen 2030 mennessä, mikä mukailee hyvin Suomen nykyistä energia- ja ilmastostrategiaa.

RED II -direktiivin myötä uusiutuvan energian lisäämiseen kannustavat järjestelmät muuttuvat joltain osin. Uusien tukijärjestelmien määrittelyyn tulee muutoksia, sillä tavoitteena on ollut lisätä markkinaehtoisuutta ja edellyttää teknologianeutraalisuutta tarjouskilpailuun perustuvilta tukiohjelmilta (EP, 2018b). Muutosten myötä Suomessa on syksyllä 2018 käyttöönotettu uusi teknologianeutraali uusiutuvan energian tukijärjestelmä, joka on tarjouskilpailuun perustuva preemiojärjestelmä.

Direktiivin myötä sähkön pientuottajille ja niiden yhteisöille on tulossa oikeuksia ja helppoja, jotka avaavat uusia mahdollisuuksia toimia kuluttajana ja tuottajina. Pientuottajille tulee oikeus myydä oman kulutuksen yli jäävä sähkö ilman kohtuuttomia maksuja, sekä saada verkkoon syötetystä sähköstä sen markkina-arvoa vastaava korvaus (EP, 2018b). Tämä johtaa siihen, että jatkossa pientuottajien ylituotanto saattaa tulevaisuudessa olla kannattavaa, mitä se nykyisellään ei vielä ole.

Uusiutuvalle lämmön ja jäähdytyksen tuotannolle tulee myös uudet tavoitteet vuoteen 2030 asti. Maakohtaiset tavoitteet vaihtelevat sen mukaan, miten paljon uusiutuvia energialähteitä käytetään tällä hetkellä. Suomen tapauksessa uusiutuvan energian lisäystarve olisi vähintään 0,55 prosenttia vuodessa mukaan lukien teollisuuden lämmitys ja jäähdytys (EP, 2018b).

2.1.3 Energiatehokkuusdirektiivi (EED)

Energiatehokkuusdirektiivi (EED) edellyttää yleisemmin muun muassa pitkän aikavälin strategiaa rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen koskien erityisesti rakennusten peruskorjausta ja lisätä älykkään teknologian käyttöä rakennuksissa. Direktiivin edellytykset vaikuttavat myös uudisrakentamisen puolelle, jossa ne näkyvät muun muassa julkisten hankintojen kautta, rakennusten automatiikan lisäyksenä ja energiakatselmuksina. Myös hybridijärjestelmien ja yhteistuotannon edistäminen vaikuttaa rakennusten E-lukutasojen määrittelyyn.

Energiatehokkuusdirektiiviä sovelletaan jäsenmaissa ottamalla huomioon maan ilmastolosuhteet, paikalliset olosuhteet, kustannustehokkuus ja sisäilmastolle asetetut vaatimukset. Se velvoittaa jäsenmaita laatimaan uuden energiatehokkuuden toimintasuunnitelman kolmen vuoden välein. Toimintasuunnitelman avulla on tarkoitus seurata jäsenvaltioiden energiankäytön ja energiatehokkuuden kehittymistä. Direktiivin on tarkoitus toimia pohjana energiatehokkuuden parantamiselle ja määrittelemiselle EU:n jäsenmaissa (EP, 2018c).

2.2 Suomen rakentamismääräykset energiatehokkuuden osalta

Suomen rakentamismääräyskokoelma uusiutui kokonaisuudessaan vuoden 2018 alussa. Suurin muutos vanhoihin nähden oli kokoelman kielioppi, joka vaihtui perinteisestä insinöörikielystä oikeustieteelliseen kieleen. Uusia määräyksiä tulee lukea eri tavalla, sillä säädöksissä ei toisteta asioita eri säädöstasoilla. Eli käytännössä, jos jotain sanotaan laissa, sitä ei enää toisteta asetuksessa.

Osa vanhoista määräyksistä jää kokonaan pois uusista asetuksista, mutta ne annetaan silti ohjeena. Tällaisia ovat muun muassa Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystekohantarpeen laskenta ja Lämmöneristys. Uusina asetuksina tulee jatkossa Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Rakennusten energiatehokkuus ja energiamuotojen kertoimet (YM, 2017b). Osana nollaenergiarakentamisen säädöspakettia energiamuotokertoimet muutettiin uusiutuvia energialähteitä ja energiatehokkuutta suosivaan suuntaan (Taulukko 1). Mikäli rakennukseen ostettavan energian energiamuotokertoimet olisi muutettu riippumaan enemmän tuotetun energian ominaispäästöistä, olisi se ohjannut todennäköisesti vielä enemmän kohti uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä (Vinha ja muut, 2019).

Taulukko 1. Rakennuksissa käytettävät energiamuotojen lukuarvot (VN, 2017b).

Energiamuoto	Energiamuodon kerroin
Sähkö	1,2
Kaukolämpö	0,5
Kaukojäähdytys	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

Rakentamismääräyksissä rakentamisen energiatehokkuuden vaatimusten perusrakenne perustuu edelleen E-lukuun ja rakennuksen lämpöhäviöihin. Uutena lisäyksenä on mahdollisuus todistaa kelpoisuus rakenteellisen energiatehokkuuden kautta ilman E-lukulasentaa. Tällöin rakenteellinen lämpöhäviö saa enintään olla yhtä suuri, kuin rakenteellisen energiatehokkuuden vertailuarvoilla määritetty vertailulämpöhäviö. Lisäksi rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on käytettävä kaukolämpöä, maalämpöpumppua tai ilma-vesilämpöpumppua. Uusissa määräyksissä otetaan huomioon uusiutuvan energian tuotanto rakennukseen kuuluvalla laitteella siltä osin, kuin se käytetään rakennuksen omiin tarpeisiin hyödyksi (YM, 2017a).

E-luku kuvaa rakennuksen tai sen osan vuotuista ostoenergiankulutusta pinta-alaa kohden. Ostoenergiankulutus painotetaan taulukon 1 mukaisella energiamuotokertoimella, jolloin otetaan myös huomioon energianlähde ja tuotantotapa. E-luvun avulla rakennukselle määritetään energiatehokkuusluokka väliltä A-G. Tunnus A vastaa asteikolla pientä energiankulutusta ja G suurta (YM, 2017a).

Epämääräisen ”lähes nollaenergiarakennus” määritelmän vuoksi 2015 Suomessa käynnistettiin FInZEB-hanke, jossa muodostettiin kansallinen näkemys siitä, mitä Suomessa tarkoitetaan lähes nollaenergiarakentamisella ja mille tasolle kansalliset energiatehokkuusvaatimukset eri rakennustyypeille tulee asettaa (TEM, 2015). FInZEB-hankkeen pohjalta ympäristöministeriön asetuksessa (2017a) on määritelty uudet E-luvun raja-arvot käyttötarkoitukseluokittain, jotka ilmenevät tarkemmin taulukosta 2.

Taulukko 2. Rakennuksen E-luvun raja-arvot (YM, 2017a).

Käyttötarkoitukseluokka	E-luvun raja-arvo kWh _E /(m ² a)
Luokka 1) Pienet asuinrakennukset:	
a) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala on 50–150 m ²	200–0,6 A _{netto}
b) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala on enemmän kuin 150 m ² kuitenkin enintään 600 m ²	116–0,04 A _{netto}
c) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala on enemmän kuin 600 m ²	
d) Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	92
	105
Luokka 2) Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100

Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäistavarakaupan alle 2000 m ² yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkot	100
Luokka 7) Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia	100
Luokka 8) Sairaala	320
Luokka 9) Muu rakennus, varastorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakaupan alle 2000 m ² yksikkö, siirtokelpoinen rakennus	ei raja-arvoa

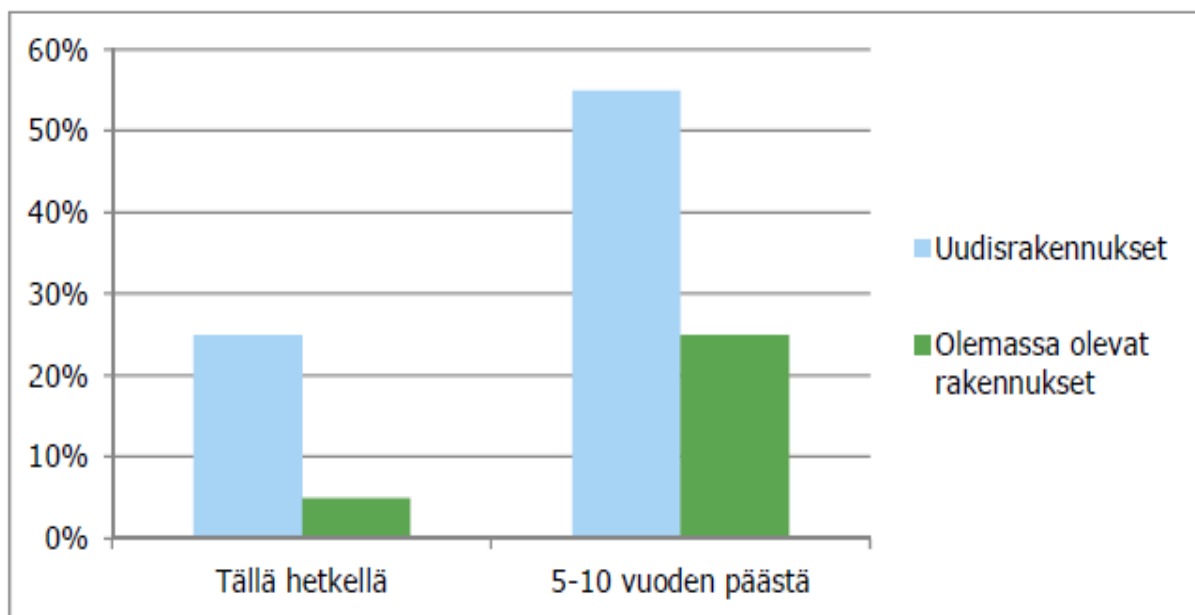
Rakennusten energiatehokkuudella tarkoitetaan rakennuksissa käytetyn energian määrää suhteutettuna rakennusten pinta-alaan tai käyttöön nähden. Energiatehokkuuden parantamiselle on olemassa useita eri perusteluja, kuten rakennusten elinkaarikustannusten minimointi, Suomen energiaomavaraisuuden edistäminen, uusien liiketoimintamallien luominen sekä rakentamisesta ja asumisesta aiheutuvan hiilijalanjäljen pienentäminen. Osa edellä mainituista tavoitteista on koko yhteiskuntaa koskevia, jonka vuoksi on myös valtiovallan perusteltua asettaa rakennushankkeille erilaisia vaatimuksia näiden tavoitteiden edistämiseksi (Vinha ja muut, 2019).

2.3 Ympäristöluokitukset

Rakennusten päästövaikutusten laskennalliseen arviointiin ei toistaiseksi ole vakiintuneita käytäntöjä. Tarjolla on useita kansainvälisiä ja Suomessa kehitettyjä työkaluja ja mittareita, jotka tarjoavat malleja päästöjen määrittämiseen, energiavirtojen mallinnukseen ja ekotehokkuuden laajempaan arviointiin. Eri mallien ja niiden tulosten vertailu on haastavaa, sillä laskentaperiaatteet, käytettävät muuttujat ja eri tekijöiden painotukset vaihtelevat haettavasta luokituksista riippuen (YM, 2015).

Rakennuksen ympäristöluokitusprosessi varmistaa kestävä kehityksen mukaisen suunnittelun projektin alusta loppuun. Ulkopuolisen arvioinnin etuna on varmistaa, että rakennuksen suunnittelu, rakennus ja lopullinen toiminta ovat tarkoituksenmukaisia. Saa-
vutettu ympäristöluokitus viestii rakennuksen omistajan ympäristömyönteisyydestä.

Rakennusten sertifiointit ovat yleistyneet viime vuosina huomattavissa määrin, ja niistä onkin tullut monin paikoin alan standardi. Lähes jokaiselle merkittävälle toimitilarakennukselle haetaan jonkin näköistä ympäristösertifikaattia rakennusvaiheessa, mutta myös käytönaikaisten sertifikaattien hakeminen on lisääntynyt. Kuvasta 1 voidaan havaita sertifiointien määrän nykytilanne, sekä ennuste sertifiointien määrästä tulevaisuudessa. Sertifikaattien avulla voidaan tarkastella rakennusten fyysisiä ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia, mutta ne eivät ota huomioon työskentelyolosuhteisiin liittyviä seikkoja. (Energiateollisuus ry, 2017).



Kuva 1. Sertifioidut rakennushankkeet (Energiateollisuus ry, 2017)

Ulkomaiset luokitukset tulevat melko kalliiksi verrattuna kotimaisiin vaihtoehtoihin, mutta niitä kannattaa harkita, mikäli rakennus on sellaisten kiinteistöomistajien piirissä, jotka pyrkivät olemaan kansainvälisillä kiinteistömarkkinoilla. Edullisuuden lisäksi

kotimaiset luokitukset on laadittu suhteutettuna suomalaisiin olosuhteisiin, arvoihin ja käyttöön kotimaassa. Ulkomaisista luokitusjärjestelmistä Suomessa yleisimmät ovat amerikkalainen LEED ja brittiläinen BREEAM. Toistaiseksi ulkomaiset ympäristöluokitukset ovat olleet huomattavasti enemmän suosiossa kotimaisiin verrattuna (Energiateollisuus, 2017).

3 Energianjakelu

3.1 Energiantuotantomallit

Keskitettyssä energiantuotantomallissa energia tuotetaan suuren kokoluokan voimalaitoksessa, josta energia siirretään asiakkaalle verkostoa pitkin. Tässä mallissa saavutetaan suuren tuotantomäärän tuottamat taloudelliset hyödyt, mutta paikalliseen ja hajautettuun tuotantoon nähden ongelmana on pitkien siirroissa tapahtuvat häviöt ja verkoston mahdolliset vaurioitumiset. Lisäksi suuren lämmön-, jäähdytys-, tai sähkönsiirtoverkon rakentaminen ja ylläpito on kallista (Motiva, 2010).

Paikallisen ja hajautetun energiantuotannon keskeisimpänä erona perinteisempään keskitettyyn energiantuotantoon verrattuna on se, että lämpö-, jäähdytys-, tai sähköenergia tuotetaan pienemmissä tuotantolaitoksissa lähellä loppukulutuspiistettä. Järjestelmät voidaan mitoittaa tarkemmin rakennuksen kulutustarpeen mukaan, jolloin päästään parempaan kannattavuuteen uusiutuvan energian hyödyntämisessä. Tällöin myös energian liikatuotantoa ei synny niin herkästi. Paikallisessa energiantuotannossa pyritään hyödyntämään paikallisia energioresursseja. Energia tuotetaan kyseessä olevassa rakennuksessa tai sen tontilla, esimerkiksi maalämpöpumpun tai aurinkopaneelijärjestelmän avulla (Motiva, 2010).

Hajautetussa energiantuotantomallissa pienikokoinen voimalaitos tuottaa energia rajatulle alueelle. Mahdollisia tuotantolaitoksia voivat olla esimerkiksi biopolttoainekattila, tuuliturbiini tai pienvesivoimala. Hajautettu energiantuotanto ei välttämättä tarkoita uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämistä, mutta käytännössä nykyisin hajautettujen energiaratkaisujen kansainvälinen kehitystyö on keskittynyt uusiutuvien energialähteen hyödyntämiseen. Yhtenä keskeisenä syynä tähän on ilmastonmuutoksen torjunta ja tiukentuvat päästömääräykset. Hajautetun energiantuotannon järjestelmän teholle ei ole tarkkaa määritelmää, mutta yleisesti rajana on pidetty alle 10 MW:n tuotantoa. Järjestelmien osalta hajautetulle energiantuotannolle tyypillisiä piirteitä ovat muun muassa

vakioidut tuotteet, isot valmistussarjat ja tuotantolaitosten miehittämättömyys (Motiva, 2010).

Energiantuotannon rakenne muuttuu merkittävästi vuoden 2020 jälkeen. Keskeisimmät muutostekijät tulevaisuudessa liittyvät teknologian kehitykseen, hajautuvaan ja uusiutuvaan energiantuotantoon, digitalisaatioon, kaupungistumiseen ja kuluttajan roolin kasvamiseen. Nämä muutostekijät ovat vahvassa vuorovaikutuksessa toisiinsa nähden, minkä vuoksi kehityksen ennustaminen on vaikeaa. Kuluttaja voi tulevaisuudessa olla yhtä aikaa energian kuluttaja, tuottaja ja varastoija. Älykkäiden energiaratkaisujen myötä energian käytön tehokkuus kasvaa kaikilla sektoreilla niin rakennuksissa, liikenteessä kuin teollisuudessaakin. Uusiutuvaan ja päästöttömään energiajärjestelmään siirtyminen edellyttää uusia energiaratkaisuja toimitusvarmuuden takaamiseksi kysynnän huippuajoina. Toimitusvarmuutta saadaan lisättyä muun muassa energian varastoinnin ja kysyntäjouston avulla (TEM, 2017).

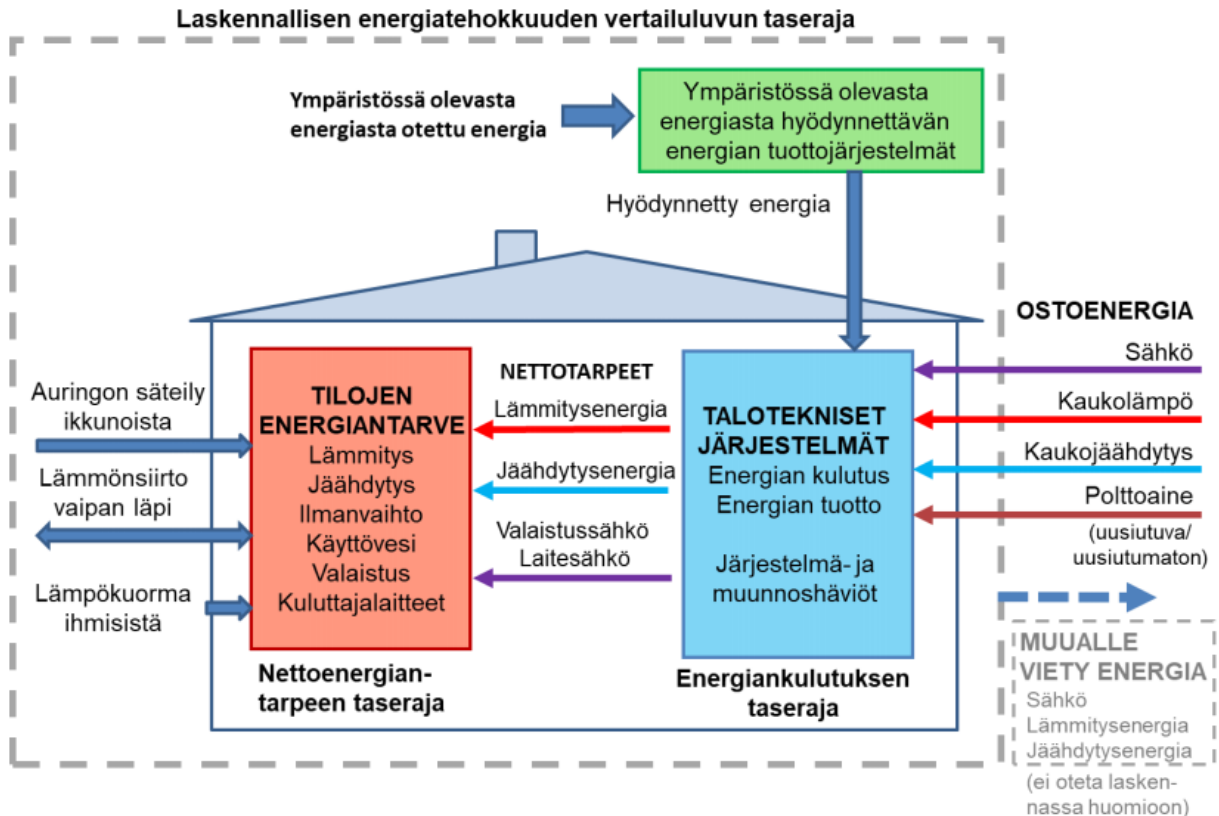
Eri tuotantomuotoja yhdistävät hybridijärjestelmät yleistyvät yhä enemmän tulevaisuudessa (TEM, 2017). Lämmöntuotannossa päälämmitysjärjestelmän rinnalla voidaan käyttää toista tai useampaa lämmitysjärjestelmää, jota pystytään hyödyntämään hintasuhteiden ollessa sopivimmillaan. Tällainen hybridijärjestelmä voi olla esimerkiksi kaukolämmön rinnalle otettava maalämpöpumppu tai aurinkolämpö. Kaukolämpöä voidaan hyödyntää huipunkysynnän aikaan ja maalämpöä taas kesäisin, jolloin sen tuotantokustannukset ovat hyvin matalat.

3.2 Rakennuksen energiatase

Energiatase kuvaa primäärienergian muuntumista käyttökelpoiseksi sekundäärienergiaksi, eli rakennuksen loppukulutukseksi. Taseesta käy ilmi primäärienergian hankinta, varastointimuutokset, energian tuotanto ja muunto sekä energian loppukulutus ja raaka-aine käyttö. Energian muuntamisesta muodosta toiseen aiheutuu aina hävikkiä, joten kulutetun primäärienergian määrä on aina suurempi kuin saadun sekundäärienergian määrä (YM, 2017b).

Energian käytön ennakkoinnin kannalta on tärkeää ymmärtää, mistä rakennuksen energiavirrat koostuvat sekä miten ne toimivat vuorovaikutuksessa toisiinsa nähden. Kohteesta riippuen rakennuksiin täytyy tuoda sähköenergiaa sekä lämmitys- ja jäähdytysenergiaa, minkä lisäksi rakennukseen voi tulla energiaa lämpökuormien ja ilmaisenergian lähteiden kautta. Energiaa myös poistuu lämpöhäviöiden ja sähkölaitteiden käytön myötä.

Uudisrakennusten energiatehokkuuden parantumisen vuoksi rakennuksen tarvitsevat yhä vähemmän lämmitysenergiaa. Jäähdytysenergian tarve on taas ollut viime vuosina kasvussa, ja se on yleistymässä myös asuinrakennuksissa. Tämän vuoksi jäähdytysenergian volyymi saattaa tulevaisuudessa olla suurempi vuositasolla kuin lämmitysenergian tarve. Ympäristöministeriön (2017b) ohjeen mukaan rakennuksen tilaan tuleviin lämpökuormiin määritellään nykyisin myös osa lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnista aiheutuvat häviöt.

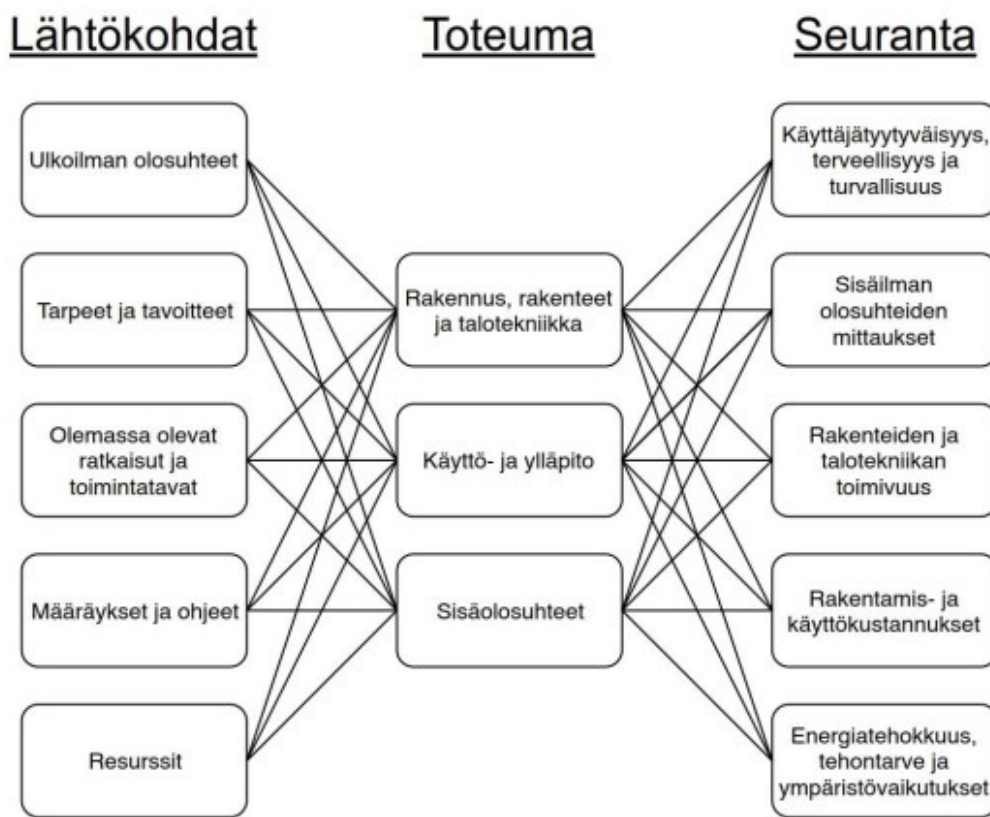


Kuva 2. Rakennuksen energiatase ja taserajat (YM 2017b)

Ympäristöministeriön (2017b) ohjeen mukaiset rakennuksen energiataseen ja eri taserajojen määrittelyt ilmenevät kuvassa 2. Nettoenergiantarpeet kuvaavat energiatarpeita, jotka tarvitaan tilojen olosuhteiden ylläpitoon. Niissä ei oteta huomioon taloteknisissä järjestelmissä ja kuluttajalaitteissa tapahtuvia häviöitä. Kun laskennassa on otettu järjestelmien ja energianmuunnoksista aiheutuvat häviöt huomioon päästään käsiksi rakennuksen energian käytön määriin. Mikäli rakennuksessa on hyödynnetty paikallisesti tuotettua energiaa, otetaan se myös huomioon, jolloin voidaan laskea rakennuksen tarvitsema ostoenergian määrä (YM, 2017b).

Koska rakennusten toteutuva energiankulutus muodostuu usean eri tekijän yhteisvaikutuksesta, niin yksittäisillä muutoksilla voi olla useita erilaisia vaikutuksia. Esimerkiksi ilmanvaihdon ilmavirtojen säätäminen, taloteknisten järjestelmien uusiminen ja tilojen käytön tehostaminen vaikuttavat energiatehokkuuden lisäksi myös moniin muihin tekijöihin, kuten rakenteiden kosteusturvallisuuteen, sisäilman olosuhteisiin sekä

investointien määrään ja kannattavuuteen. Jotta energiatehokkuutta voitaisiin parantaa mahdollisimman kestäväällä ja tehokkaalla tavalla, täytyy erilaisia energiatehokkuustoimenpiteitä arvioida kaikista keskeisistä näkökulmista ennen lopullisten toimenpiteiden valintaa ja toteutusta. Energiatehokkuus on yksi rakennukselle asetettu tavoite tai vaatimus muiden joukossa. Tärkeää on myös seurata toteutuneen kohteen onnitumista rakennusvaiheen jälkeenkin. Taustatekijöiden, toteutuneen tilanteen ja jälkiseurannan yhteyttä on havainnollistettu kuvassa 3 (Vinha ja muut, 2019).



Kuva 3. Rakennuksen energiatehokkuuden muodostuminen (Vinha ja muut, 2019)

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien valintaan liittyy aina tekijöitä, joita on hankala mitata tai muuttaa numeeriseen muotoon. Kriteereille määritellyissä arvoissa voi olla helposti puutteita, jolloin niillä voi olla merkittävä vaikutus vertailun lopputulokseen. Tämän lisäksi kohteiden ja laskelmien vertailu vaikeutuu, mikäli käytetään eri painotusarvoja.

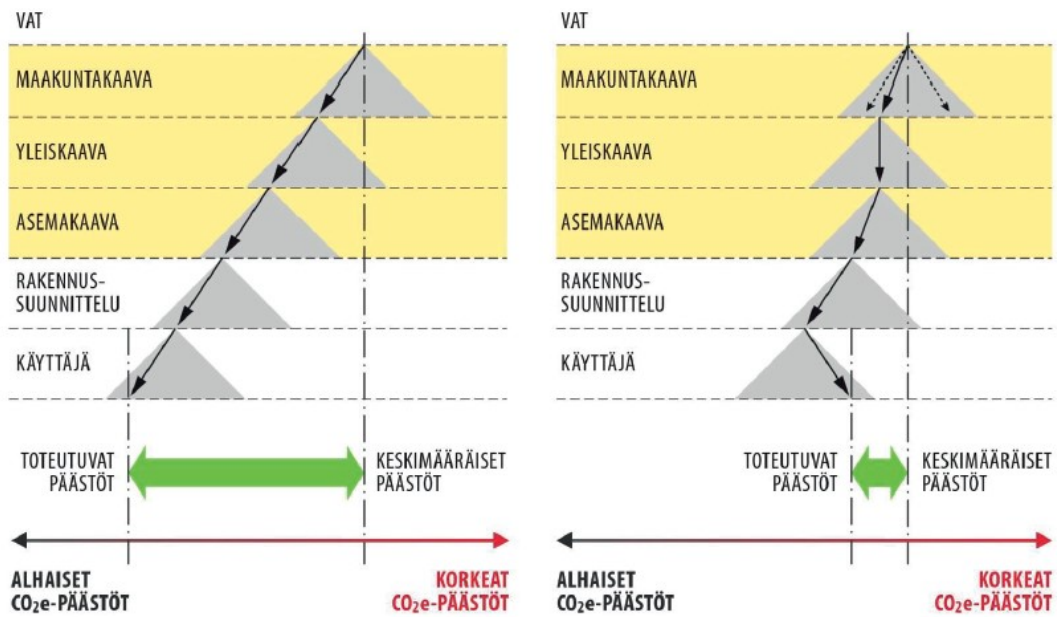
Tämän vuoksi kohdekohtaisten kriteerien arviointia tulisi suorittaa muiden menetelmien rinnalla (Vinha ja muut, 2019).

Rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen on monimutkainen kokonaisuus, joka vaatii useiden vaatimusten yhtäaikaista täyttymistä ja alan erityisosaamista. Laajaa muutosta tavoiteltaessa tulee myös paljon haasteita, jotta asetetut tavoitteet saavutetaan tehokkaasti ja ilman negatiivisia vaikutuksia (Vinha ja muut, 2019).

3.3 Energiaratkaisut kaavoitusvaiheessa

Rakennusten energiatehokkuusmääräysten tiukentuessa myös alueelliseen energiatehokkuuteen aletaan kiinnittämään huomiota yhä enemmän. Alueilla ei ole samanlaisia energialuokitusjärjestelmää kuin rakennuksilla, mutta tietylle alueelle voidaan määrittellä sen energiatavoitteet ja arvioida alueen energiatase. Energiankulutuksen vähentäminen on usein helpoin ja kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä. Kaavoituksen avulla voidaan mahdollistaa erilaisten energiaratkaisujen käyttöönottoa sekä ottaa huomioon tulevaisuuden innovaatioiden hyödyntäminen (YM, 2015).

Kaavoituksen alussa suunnittelukohteessa on tärkeää tunnistaa todennäköisimmät ja suosituimmat energiaratkaisut sekä pyrkiä huomioimaan näiden järjestelmien asettamat vaatimukset. Kaavoitusvaiheessa ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista tai edes mahdollista määrätä jotain tiettyä energiantuotantomuotoa suunniteltavalle alueelle, vaan tarkoituksena onkin luoda mahdollisimman hyvät edellytykset hyödynnettävissä olevien ratkaisujen toteuttamiseen (YM, 2015).



Kuva 4. Ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus (Lylykangas ja muut, 2013)

Kuvan 4 vasemmalta puolelta voidaan havaita, kuinka paras vaikuttavuus voidaan saavuttaa, kun eri suunnittelutasoilla toteutetaan yhtenäistä näkemystä alueellisista tavoitteista ja päästövähennyskeinoista. Kuvan oikea puoli taas kuvaa kommunikaation ja yhteisen näkemyksen puutetta eri tasojen välillä, jolloin haluttu lopputulos jää haluttua heikommaksi. Ylempi kaavataso luo lähtökohdat seuraavan tason suunnittelulle, valinnoille ja päästövähennysmahdollisuuksille. Rakennesuunnittelu tehdään pitkälti asema-kaavan ohjaamana ja lopuksi rakennuksen loppukäyttäjän valinnoilla on suuri merkitys lopulliseen hiilijalanjälkeen (Lylykangas, Lahti, Vainio, 2013).

Kaavoituksen alussa suunnittelukohteessa on tärkeää tunnistaa todennäköisimmät ja suosituimmat energiaratkaisut sekä pyrkiä huomioimaan näiden järjestelmien asettamat vaatimukset. Kaavoitusvaiheessa ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista tai edes mahdollista määrätä jotain tiettyä energiantuotantomuotoa suunniteltavalle alueelle, vaan tarkoituksena onkin luoda mahdollisimman hyvät edellytykset hyödynnettävissä olevien ratkaisujen toteuttamiseen (YM, 2015).

Suunniteltuja energiaratkaisuja voidaan mahdollistaa kaavoituksessa huomioitavin tilavarauksin ja rakentamisen ohjauksella. Esimerkiksi maalämpöjärjestelmien hyödyntämistä saattaa rajoittaa sijoittautuminen pohjavesialueelle ja varsinkin useimpien kaupunkien kantakaupunkialueiden maanalaiset tilatarpeet. Aurinkoenergiaratkaisuihin voidaan kannustaa suuntaamalla rakennuksien kattorakenteet otolliseen ilmansuuntaan. Jälkikäteen tehtävät päätökset johtavat helposti kohdealueen huonompaan energiatehokkuuteen ja korkeimpiin päästöihin (YM, 2015).

4 Energiantuotantomuotojen ratkaisut alustavassa suunnittelussa

Tässä luvussa esitellään lyhyesti tarkasteluun kaukolämmön ja -jäähdytyksen sekä valitujen pientuotantomuotojen periaatteet ja ominaispiirteet. Näin saadaan yleiskuva tutkimuksen viitekehyksestä ja olennaiset taustatiedot siitä, miten erilaiset järjestelmät soveltuvat yhteen.

4.1 Kaukolämpö ja kaukojäähdytys

Tulevaisuudessa kaukolämpö ja kaukojäähdytys ovat keskeisessä roolissa rakennusten energiajärjestelmissä, kun kiinteistöissä tuotetaan ja kierrätetään energioita yhä enenevässä määrin. Lämmön eri tuotantomuotojen teknologisen kehityksen, energiapolitiikan ja rakentamisen sääntelyn vuoksi kilpailu asiakkaista on kasvanut voimakkaasti. Kaukolämmöllä on edelleen vahva kilpailuasema, mutta sen rinnalle on noussut myös muita vaihtoehtoja. Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen myynnin määrä sekä verkoston koko on jatkanut kasvuaan, mutta kasvuvauhti on hidastunut viime vuosien aikana (Pöyry Oy, 2016).

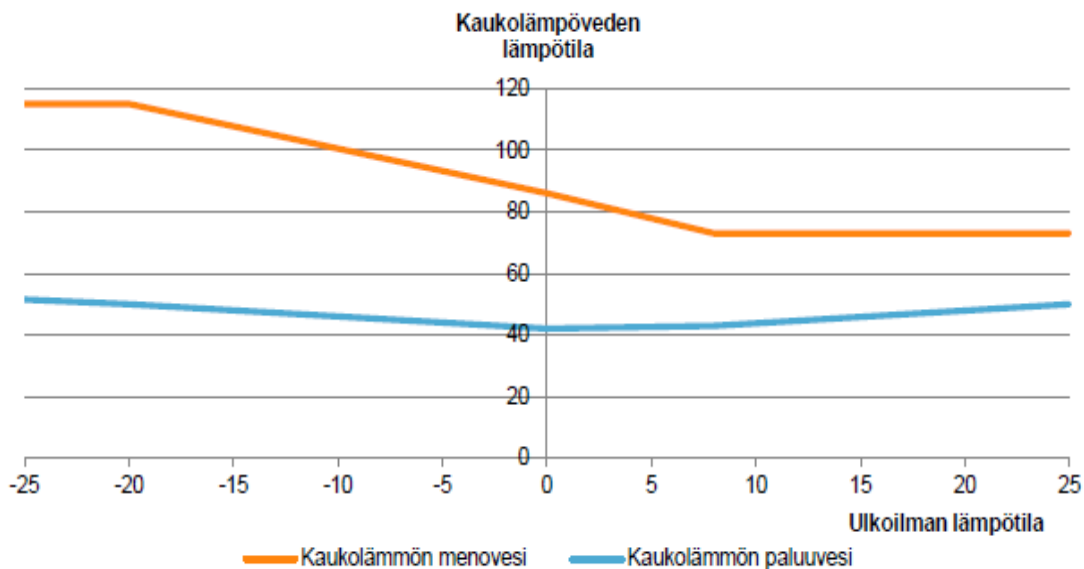
4.1.1 Kaukolämpö

Kaukolämmitys on yleisin rakennusten lämmitysmuoto Suomessa. Lähes 90% Helsingin kiinteistöistä lämmitetään kaukolämmöllä, ja koko Suomen rakennuskannasta 45% on kaukolämmön piirissä. Kaukolämpöä voidaan tuottaa sähkön ja lämmön yhteistuotantona tai pelkästään lämmön erillistuotantona. Näiden tuotantomuotojen lisäksi lämmön talteenotto kattaa noin 9% kaukolämmön hankinnasta. Kierrätettyä ylijäämälämpöä voidaan saada esimerkiksi teollisuuden prosesseista tai datakeskuksista (Pöyry Oy, 2018).

Kaukolämpöjärjestelmässä lämpö siirretään kaksiputkijärjestelmässä kuuman veden tai vesihöyryn avulla tuotantolaitoksilta kiinteistöihin. Kiinteistöön tulevasta menoputkesta kaukolämpövesi siirtää lämpöä asiakkaan lämmönjakolaitteiston lämmönsiirtimeen,

josta lämpö siirtyy kiinteistön omaan lämmityskiertopiiriin. Jäähdyntynyt kaukolämpövesi palaa paluuputkea pitkin takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Lämpöenergia lämmönsiirtimestä voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksen lisäksi myös käyttöveden lämmitykseen ja muihin lämmitystarpeisiin (Pöyry Oy, 2018).

Jokainen kaukolämpöverkosto on omanlaisensa kokonaisuus teknisistä ratkaisuista ja järjestelmistä lähtien. Myös virtaavan veden määrä ja lämpötilat vaihtelevat verkostoittain. Lämpötilat vaihtelevat muun muassa verkoston mitoituksen, siirtohäviöiden ja vallitsevan ulkolämpötilan mukaan. Talviaikaan verkostoon syötettävän veden tulee olla kuumempaa, jotta lämpöä saadaan siirrettyä riittävästi kaikille rakennuksille. Menoveden lämpötila vaihtelee tavanomaisesti vuoden sisällä 65 ja 120 asteen välillä. Paluuveden lämpötila taas vaihtelee keskimäärin 40-60 asteen välillä. Kuvassa 5 on havainnollistettu tavanomaisen kaukolämpöverkoston meno- ja paluuveden lämpötilan vaihtelu ulkoilman lämpötilan mukaan. Korkeampien lämpötilojen käyttöä pyritään välttämään lämpöhäviöiden vuoksi (Pöyry Oy, 2018).

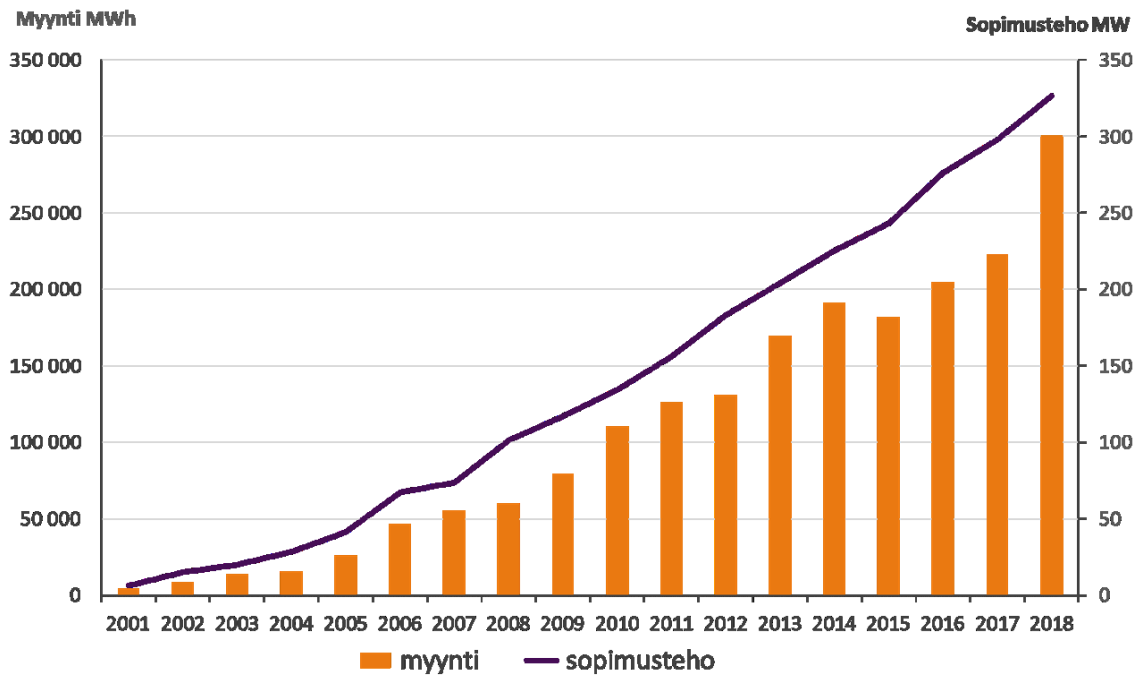


Kuva 5. Meno- ja paluuveden lämpötilavaihtelut (Pöyry Oy, 2018)

Teknologian kehitys vie myös kaukolämpöä eteenpäin ja tulevaisuudessa tavoitteena on nostaa järjestelmien energiatehokkuutta ja madaltaa veden lämpötilatasoja. Myös erilaiset lämpöpumput ja hybridiratkaisut ovat yleistymässä kaukolämmöntuotannossa. Korkeat lämpötilat aiheuttavat haasteita lämpöpumppujen käytölle, koska lämpöpumpun hyötysuhde heikkenee vaadittava lämpötilan noustessa. Mikäli verkostoon syötetään viileämpää vettä kiertävään veteen nähden, niin heikkenee tällöin koko verkoston energiatehokkuus ja kustannukset kasvavat. Lämpöpumpun tuottama veden lämpötila on normaalisti enintään noin 60 astetta, joten ne vaativat yleensä lämpötilan nostoa muilla tuotantomuodoilla. Pelkästään maalämmöllä toimiva verkosto on myös mahdollista toteuttaa, mutta verkosto tulisi suunnitella matalalämpöverkoksi, jossa menoveden lämpötila olisi tavanomaista pienempi. Myös kiinteistön lämmitysjärjestelmä tulee mitoittaa matalalämpöverkkoon soveltuvaksi, joka tarkoittaa käytännössä esimerkiksi radiattorien ja putkikokojen suurentumista (Pöyry Oy, 2019).

4.1.2 Kaukojäähdytys

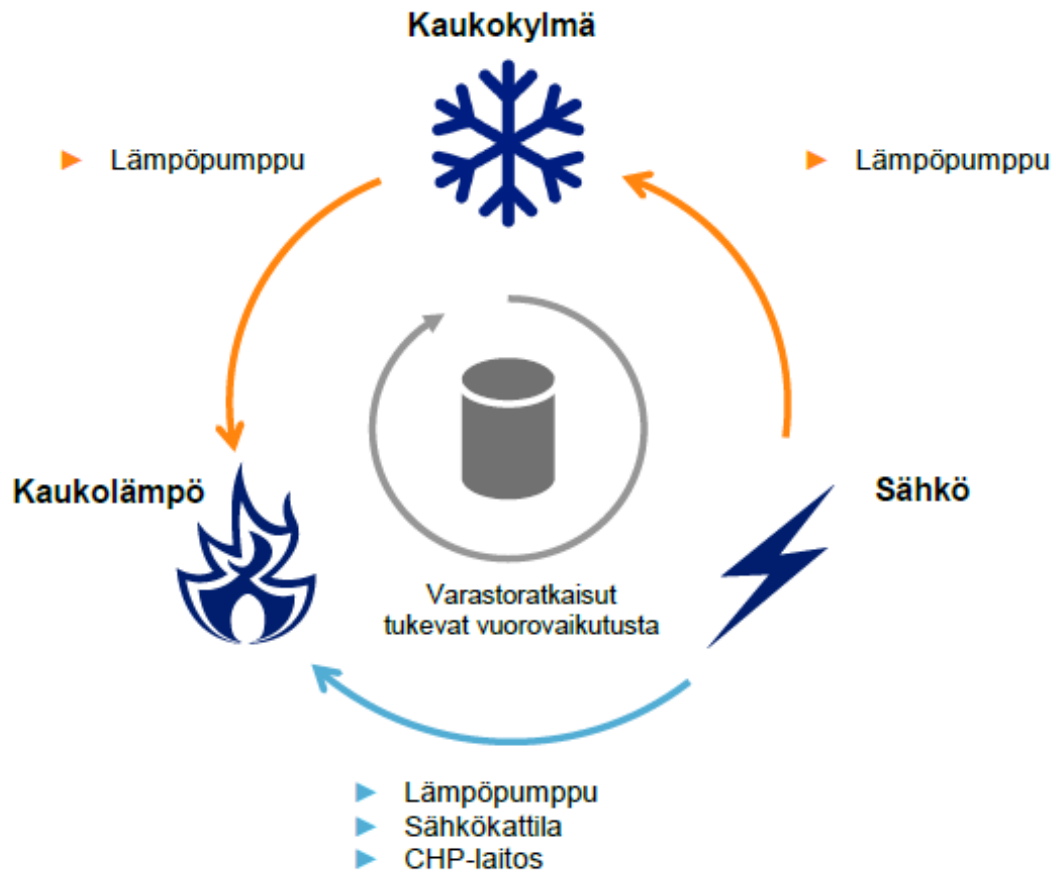
Kaukojäähdytys on suhteellisen uusi jäähdytys muoto, sillä Suomessa ensimmäiset yhtiöt aloittivat jakelun 2000-luvun taitteessa. Jäähdytysenergian tarve on lisääntynyt viime vuosina kiinteistöjen muuttuessa energiatehokkaammiksi ja tiiviimmiksi. Myös rakennusten käyttäjien asettamat vaatimuksen sisäilman laadulle ja lämpötilalle on lisännyt jäähdytystarpeen kysyntää. Alla olevasta kuvasta (kuva 6) voidaan havaita, että kaukojäähdytyksen myynti kasvoi viime vuonna reilusti lämpimän kesän ja laajentuneen toiminnan vaikutuksesta. Jäähdytyksen käyttö on perinteisesti painottunut pääasiassa toimitilakiinteistöihin, mutta myös asuinkiinteistöissä jäähdytyksen käyttö on alkanut yleistyä (Pöyry Oy, 2018).



Kuva 6. Kaukojäähdytyksen myynti (Energiateollisuus ry, 2019)

Kaukojäähdytys on keskitetysti tuotettua jäähdytettyä vettä, jota jaetaan kaukolämpöverkon tavoin rakennuksille, joissa sitä hyödynnetään tilojen viilennykseen. Toimintaperiaate eroaa kaukolämmöstä siinä, että lämpöä siirretäänkin kaukojäähdytysnesteeseen mukana pois kiinteistöstä. Paluuveden lämpö voidaan ottaa talteen ja kierrättää lämpöpumppujen avulla kaukolämmöksi. Samoilla lämpöpumpuilla voidaan tuottaa lämpöä sekä jäähdytystä.

Yli 90% kaukojäähdytyksestä tuotetaan hukkaenergialla. Jäähdytyksentuotannossa voidaan hyödyntää myös ulkoilman ja vesistöjen energiaa lämpötilan ollessa riittävän alhainen (Energiateollisuus ry, 2019). Kuvassa 7 on esitetty periaatekuva energian siirtämisestä eri verkostojen välillä ja siihen liittyvistä järjestelmistä. Lämpöpumppuja ja CHP:n erilaisia ajotapoja hyödynnetään jo nykyisellään kannattavuuden mukaan. Sähkön muuttaminen suoraan lämmöksi on harvinaisempaa, sillä se on kannattavaa silloin kun lämmön marginaalituotantokustannus on suurempi kuin sähkön kokonaishinta (Pöyry Oy, 2018).



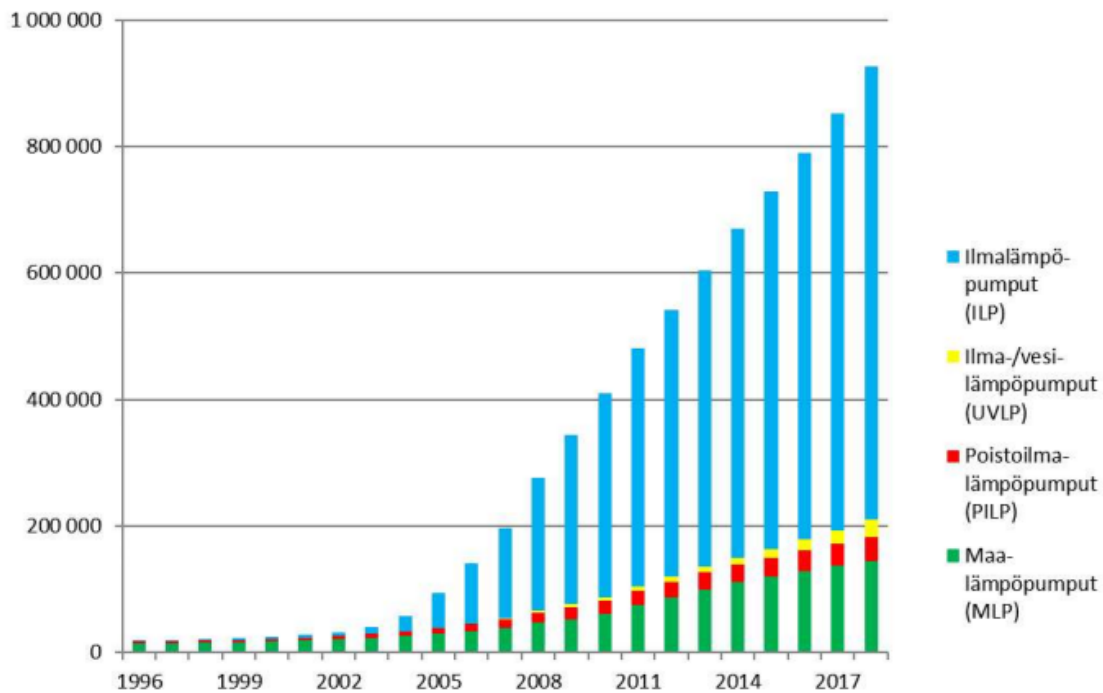
Kuva 7. Energiamuotojen vuorovaikutus (Pöyry Oy, 2018)

Kaukojäähdytyksen etuina voidaan katsoa muihin järjestelmiin nähden sen toimintavarmuus sekä välttyminen rakennuskohtaisten jäähdytyskoneiden aiheuttamilta ääniltä ja tärinöiltä. Jäähdytyskoneiden lauhdutinyksiköt sijoitetaan yleensä vesikatolle, jolloin säästetään tilaa mahdollisesti esimerkiksi aurinkoenergiajärjestelmiä varten. Lisäksi lauhduttimet saattavat usein rumentaa rakennuksen ulkoasua, jos ne näkyvät maantasolle tai viereisiin rakennuksiin.

4.2 Lämpöpumput

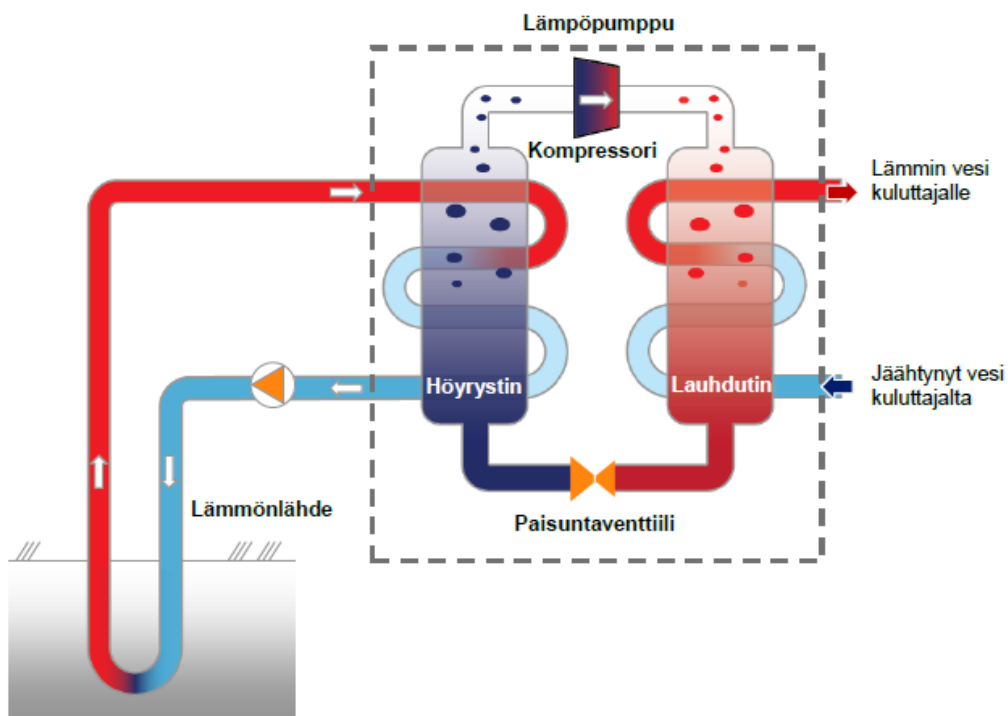
Lämpöpumput ovat yleistyneet merkittävästi vuosituhaten vaihteen jälkeen vaihtoehtoisena ja rinnakkaisena lämmönlähteenä kaikissa rakennusluokissa. Kuva 8 havainnollistaa lämpöpumppujen kumulatiivisen kappalemäärän nousua. Ne korvaavat vanhoissa taloissa pääosin öljy- ja sähkölämmitystä, mutta myös jonkin verran kaukolämpöä.

Lämpöpumpuilla tuotettu kokonaisenergia Suomessa vuositasona on tällä hetkellä noin 10 TWh, ja ennuste vuodelle 2030 on 22 TWh. Kasvuennustetta tukevat myös energiahintojen nousu ja rakennusten lämmityksen kiristyneet ympäristö- ja energiatehokkuustavoitteet (SULPU, 2019).



Kuva 8. Suomeen myydyt lämpöpumput, kumulatiivinen (SULPU, 2018)

Lämpöpumppujen avulla siirretään kallioon, maahan, ilmaan tai veteen varastoitunutta lämpöenergiaa kiinteistöjen tai käyttöveden lämmitykseen. Lämpöpumpun tuottamasta lämmöstä karkeasti arvioituna 2/3 on lämmönlähteestä otettua uusiutuvaa energiaa ja loput 1/3 tuotetaan sähköllä. Lämpöpumput hyödyntävät eri lämmönlähteiden lämpötilaeroja siirtämällä lämpöä kylmemmästä tilasta lämpimämpään. Järjestelmän suljettu piiri koostuu kahdesta lämmönvaihtimesta, paisuntaventtiilistä ja kompressorista. Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 9 (SULPU, 2019).



Kuva 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Pöyry Oy, 2018)

Keruuputkistossa kiertää kylmäaine, joka kerää lämpöenergiaa lämmönlähteestä. Keruupiirin lämpö kohtaa höyrystimessä lämpöpumpun jääkylmän kylmäaineen, jolloin se höyrystyy. Höyrystynyt kylmäaine puristetaan kompressorin avulla korkeaan paineeseen, jolloin sen lämpö nousee. Kompressori aiheuttaa myös alipaineen höyrystimelle, mikä parantaa lämmöntalteenottoa keruupuolelta ja alentaa kylmäaineen höyrystymispisteen lämpötilaa. Syntynyt lämpö johdetaan lauhduttimen kautta talon omaan lämmitysjärjestelmään, jolloin kiertävän kylmäaineen lämpötila laskee ja se muuttuu jälleen nesteeksi. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine laskee ja neste muuttuu uudelleen jääkylmäksi. Venttiilin jälkeen kylmäaine virtaa uudelleen höyrystimeen ja aloittaa uuden kierron. Prosessi voidaan toteuttaa myös toisin päin, jolloin samoilla laitteilla onnistuu myös tilojen jäähdytys (SULPU, 2019).

Mikäli rakennus tarvitsee yhtäaikaista lämmitys- ja jäähdytysenergiaa, voidaan se toteuttaa hybridilämpöpumpulla. Hybridilämpöpumppu vaatii järjestelmän automatiikalta ja laitteistolta hieman enemmän perinteiseen lämpöpumppuun verrattuna, mutta

laitteiston hyötysuhde on omaa luokkaansa, sillä yhdellä kompressorityöllä on mahdollista hoitaa kaksi toimintoa. Hybridilämpöpumppu sisältää kolmen lämmönsiirrintä tavanomaisen höyrystimen ja lauhduttimen sijaan. Lämmitys- ja jäähdytyspiirit sisältävät omat lämmönsiirtimensä sekä kolmas lämmönsiirrin lauhdelämpöä varten. Kesäaikaan jäähdytyskäytön ohella voidaan joissain tapauksissa lämmitystarve kattaa pelkästään lauhdelämmön avulla. Hybridilämpöpumpun lämmönlähteenä voidaan hyödyntää ulkoilmaa tai maalämpöä keruupiirin avulla.

4.2.1 Maalämpöpumppu ja maakylmä

Maalämpöpumput käyttävät lämmönlähteenään maaperän geotermistä tai vesistöihin sitoutunutta aurinkoenergiaa. Kallioon porattu vertikaalinen energiakaivo on tavallisin talteenotto tapa, jonka syvyydet vaihtelevat keskimäärin 80-400 metrin välillä. Syvempien kaivojen poraaminen ei ole usein kannattavaa, sillä keruunesteen kierrätys vaatii enemmän energiaa ja porauskaluston löytäminen haastavaa. Tontin ollessa tarpeeksi iso voidaan keruuputkisto sijoittaa myös vaakatasoon pintamaahan. Vesistöjä hyödynnettäessä keruuputkisto ankkuroidaan pohjaan painoilla (Juvonen, Lapinlampi, 2013).

Lämmönlähteenä vesistöjen ja maaperän hyödyntämisen etuna on niiden tasainen lämpötila vuodenajasta riippumatta. Maa- ja kallioperän pintaosien lämpötilat Suomessa ovat noin kaksi astetta alueen vuoden keskimääräistä lämpötilaa korkeammat. Etelä-Suomessa lämpötilat ovat 15m syvyydessä noin 5-6 °C ja lämpötila nousee 0,5-1 °C aina 100 metriä kohden. Maaperän ominaislämmöntuotto vaihtelee jatkuvassa käytössä 10-30 W/m riippuen maaperästä, sijainnista ja lämpötilasta. Tasaisen lämpötilan vuoksi maalämpöpumpulla on mahdollista kattaa rakennuksen kaiken lämmitysenergian myös kylmimpinä talvipäivinä (Juvonen, Lapinlampi, 2013).

Lämpöpumpun tehomitoitus on tärkeää elinkaarikustannusten kannalta. Täystehomitoitettu maalämpöjärjestelmä kattaa 100% huipputehontarpeesta, jolloin kiinteistön ja käyttöveden lämmitys katetaan kovimmillakin pakkasilla ilman lisälämmitystä.

Täysteholle mitoitettu pumppu on yleensä ylimitoitettu, joten maalämpöpumppu tyypillisesti mitoitetaan 60-85% osateholle. Tällöin se kattaa 90-98% rakennuksen vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta ja kovimmilla pakkasilla loput tuotetaan lisälämmitysjärjestelmällä. Lisälämmityksenä voidaan käyttää esimerkiksi suoraa sähköä tai kaukolämpöä. Sähkölämmityksen valinta on usein tyypillinen vaihtoehto, mikäli maalämmöllä voidaan saavuttaa riittävä tehopeitto. Tällöin myös säästytään kaukolämmön kuukausittaiselta kiinteään maksun osalta. Tehomitoitus vaikuttaa suoraan myös lämmönkeruujärjestelmän laajuuteen, joka on yksi merkittävä kustannuserä maalämmön alkuinvestoinneista (Juvonen, Lapinlampi, 2013). Maalämmölle ovat tyypillisiä suuret investointikulut ja pienet käyttökustannukset. Vuosittaisten kustannussäästöjen vuoksi takaisinmaksuajat ovat yleensä kohteesta riippuen kohtuullisia.

Vertikaalisti porattuja energiakaivoja voidaan asentaa samaan järjestelmään useita, jolloin niiden muodostama energiakaivokenttä toimii maalämpöpumpun lämmönkeruupirina. Mitä suurempi lämmitystehontarve on, sitä laajempi kenttä vaaditaan. Laajemmat kentät ovat yleistyneet merkittävästi, kun maalämpöjärjestelmiä on alettu hyödyntämään yhä useammin myös suuremmissa kohteissa. Riittämätön tontin koko tai maanalaiset tilat rajoittavat maalämmön hyödyntämispotentialiaalia varsinkin kaupungeissa (Juvonen, Lapinlampi, 2013).

Maalämpöpumpun yhtenä rajoittavana tekijänä on rakennuksen sijainti tärkeällä pohjavesialueella. Tärkeiden pohjavesialueiden pohjavettä ei saa käyttää lämpöpumppujen energialähteenä. Esimerkiksi Helsingin seudun alueella tärkeitä pohjavesialueita ovat muun muassa Tattarisuon, Fazerilan, Vartiokylän ja Vuosaaren pohjavesialueet (Rakennusvalvontavirasto, 2014). Myös maaperän tutkimuksiin on hyvä käyttää resursseja ennen järjestelmän suunnittelua ja asentamista, jotta voidaan varmistua riittävästä lämmön tuotannosta ja optimaalisesta toiminnasta.

Maalämpöjärjestelmää voidaan käyttää kesäaikaan myös rakennuksen jäähdyttämiseen. Viilennystapana voidaan käyttää passiivista tai aktiivista viilennystä. Passiivinen viilennys

tuottaa aktiivista vähemmän jäähdytysenergiaa, joten sitä ei voida hyödyntää jäähdytystarpeen ollessa suuri. Passiivijäähdytyksessä ei käytetä erikseen sähkökäyttöistä jäähdytyskonetta, vaan sähköenergiaa kuluu vain erillisen kiertovesipumpun ja jäähdytyslaitteen toimintaan. Aktiivijäähdytyksessä jäähdytys tuotetaan lämmityksen tavoin kompressorilla, jolloin lämmityspiiri ja keruupiiri on käännetty vaihtventtiilien avulla toisinpäin (Motiva 2018). Jäähdytyksen tuotto parantaa merkittävästi maalämpöpumpun kannattavuutta, sillä sen avulla voidaan säästää vedenjäähdytyskoneiden tai kaukojäähdytyslaitteiden investointikustannukset. Lisäksi kaukojäähdytyksen kiinteät vuosittaiset maksut jäävät pois.

Jäähdytysenergia jaetaan rakennuksen tiloihin joko ilmanvaihdon kautta, puhallinkonvektorilla, säteilylämmittimellä tai lattialämmitysputkistojen kautta. Huoneilmasta saatu lämpö voidaan siirtää takaisin maaperään tai hyödyntää lämpöpumpun kautta käyttöveden lämmitykseen. Kesäaikana maaperään siirretty lämpöenergia parantaa energiakäivon antoisuutta lämmityskaudella (Juvonen, Lapinlampi, 2013).

4.2.2 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu hyödyntää lämmityskäytössä ulkoilman sisältämää lämpöenergiaa. Ilmalämpöpumpussa lämpö siirtyy ulkoilmasta höyrystimessä kylmäaineeseen ja lauhduttimessa kylmäaineesta huoneilmaan. Kylmäaine kiertää höyrystimen ja lauhduttimen välillä muiden lämpöpumppujen tavoin kompressorin avulla. Jäähdytyskäytössä prosessi on päinvastainen, eli lämpö siirtyy sisäilmasta ulkoilmaan (Motiva, 2018).

Suomen kylmät talviolosuhteet asettavat rajoituksia ilmalämpöpumpun toiminnalle, koska sen lämpöenergian tuottama määrä vähenee pakkasten kiristyessä. Keskimäärin ilmalämpöpumput mitoitetaan -15...-25°C asti, jonka jälkeen pumppu tuottaa lämpöä saman verran kuin se kuluttaa sähköä. Ilmalämpöpumppu saavuttaa parhaimman hyötysuhteen silloin, kun lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä on mahdollisimman pieni. Tällöin pumpun automatiikka sulkee pumpun tai se on sammutettava itse. Tämän vuoksi

ilmalämpöpumppu ei sovellu rakennuksen päälämmityslähteeksi, vaan se toimii lähinnä lisälämmittimenä muun lämmityksen ohella (Motiva, 2018).

Kustannus- ja energiatehokkuuden kannalta parhain hyöty saadaan, kun rakennuksessa on suora sähkölämmitys ja mahdollisimman avara pohjaratkaisu. Avara pohjaratkaisu auttaa lämpöä leviämään riittävästi kaikkiin rakennuksen tiloihin. Hyviä käyttökohteita ovat myös sellaiset tilat, joissa tarvitaan huonekohtaista lämmitystä ja jäähdytystä. Tällaisia kohteita voi olla muun muassa pienemmät toimistot, päiväkodit ja koululuokat (Motiva, 2018).

4.2.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu eli IVLP hyödyntää ilmalämpöpumpun tavoin ulkoilman lämpöenergiaa, mutta lämmönluovutus tapahtuu huoneilman sijaan lämmitysveteen. Lämmin vesi voidaan hyödyntää huonetilojen ja käyttöveden lämmityksessä. IVLP toimii parhaiten matalalämpöisen lämmönjakojärjestelmän yhteydessä. Paras vaihtoehto lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys, mutta sen yhteyteen on mahdollista kytkeä puhallinkonvektorit tai vesikiertoiset patterit. Ilma-vesilämpöpumppuja käytetään pääosin sisäilman sekä käyttöveden lämmitykseen, mutta aktiivinen viilennys on mahdollista kompressorin avulla. Viilennyskäytössä lämpöenergiaa ei voida varastoida vaan se siirtyy ilmaan lämpöpumpun ulkoyksikön kautta (Motiva, 2018).

Ulkoilman hyödyntäminen lämmönlähteenä aiheuttaa myös ilma-vesilämpöpumpun kanssa käyttörajoitteita kovimmilla pakkasilla, joten loppulämpö joudutaan tuottamaan muulla lisälämmönlähteellä, kuten esimerkiksi sähkökattilalla tai kaukolämmöllä. Hyötysuhde heikkenee samaa tahtia ulkolämpötilan laskiessa. Laite tuottaa lähes puolet vähemmän lämpöenergiaa -20°C asteessa kuin $+7^{\circ}\text{C}$ asteessa. Teknologia on kuitenkin kehittynyt paljon viime vuosina ja markkinoilla on enemmän laitteita, jotka on suunniteltu toimimaan kylmemmissä olosuhteissa (Motiva, 2018).

Etuina maalämpöpumppuun verrattuna ovat pienemmät investointikustannukset sekä laajemmat asennusmahdollisuudet kohteisiin, joissa maalämpöä ei ole mahdollista hyödyntää. Tuotetussa ilmaisenergian määrässä ei kuitenkaan päästä samaan tasoon maalämmön kanssa, johtuen suuresta ulkoilman lämpötilavaihtelusta. Ilma-vesilämpöpumppu voidaan helposti myös asentaa saneerauskohteeseen vanhan lämmitysjärjestelmän tilalle tai rinnalle (SULPU, 2019).

4.2.4 Poistoilmalämpöpumppu

Lämpöpumpuista etenkin poistoilmalämpöpumput ovat yleistyneet viime aikoina kaupungeissa. Lämmitysenergia otetaan rakennuksesta poistettavasta ilmasta ja lämpö siirretään pumpun avulla lämpimään käyttöveeseen, tuloilmaan tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään (SULPU, 2019). Rakentamismääräysten mukaan rakennuksen sisäilman on vaihdettava kahden tunnin välein, joten poistoilman lämpöenergia on merkittävä vuositasolla. Kerrostaloissa poistoilman mukana rakennuksesta poistuu 25-35% lämpöenergiasta (Motiva, 2018).

Ne soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. Tällaisia kohteita ovat tyypillisesti vanhemmat saneerauskohteet. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä tarvitsee rinnalleen aina päälämmitysjärjestelmän, sillä poistoilman lämmöllä ei voida kattaa koko rakennuksen vuosittaista lämmöntarvetta. Energiantarve päälämmitysjärjestelmällä esimerkiksi olemassa olevalla kaukolämmöllä pienenee kohdekohtaisesti 10-40% sekä lämmityksen huipputehontarve pienenee. Taloudellisesti kannattavuuden kannalta tavoitteellinen lämmityskustannusten alentuminen tulisi olla vähintään 30%. Poistoilmalämpöpumppuja on myös asennettu maalämpöjärjestelmien rinnalle (Motiva, 2018).

Poistoilmalämpöpumpun etuna on talteen otettavan sisäilman tasainen lämpötila. Pumpulla voidaan siis tuottaa lämmitysenergiaa vuodenajasta ja ulkolämpötilasta riippumatta ympäri vuoden (SULPU, 2019). Lämmityskauden ulkopuolella talteen otettavaa

lämpöä on kannattavaa hyödyntää käyttöveden lämmitykseen etenkin sellaisissa kohteissa, joissa käyttöveden kulutus on runsasta.

4.2.5 Vedenjäähdytyskone

Usein suuremmissa rakennuksissa jäähdytysenergiantuotanto on toteutettu VJK:n eli vedenjäähdytyskoneen avulla. Toimintaperiaatteeltaan VJK on lämpöpumpun kaltainen, mutta prosessi on päinvastainen. Vedenjäähdytyskoneessa kylmäaine höyrystyy ja lauhduu vuorotellen ja siirtää lämpöä jäähdytyspiiristä pois. VJK voidaan toteuttaa ilma-, vesi- tai liuoslauhdutteisena. Vedenjäähdytyskoneen teho perustuu jäähdytysvesiverkoston kuormien vaatimaan kokonaistehoon, ja se mitoitetään tyypillisesti täysitehoiseksi. Tyypillisesti vedenjäähdytyskoneelle tuleva jäähdytysverkoston paluuvedenlämpötila on 12 °C ja menoveden lämpötila 7 °C, jolloin jäätymisriski höyrystimessä on vielä hallittavissa (Aittomäki, 2012).

Vedenjäähdytyskoneen käyttöikään vaikuttaa lämpöpumppujen tavoin keskeisesti kompressorin elinkaaren ikä, joka on tyypillisesti noin 15 vuotta. Kompressorin käyttöikään vaikuttaa sen vuotuiset käyttötunnit, mahdolliset jatkuvat pysähtelyt sekä käytettävä kompressorityyppi. Kompressoreja on myös yleensä useampi, jolloin niitä voidaan käyttää tehoportaittain. Suurissa kohteissa yksiköt voidaan jakaa myös useammaksi yksiköksi, jolloin yksikköjen osatehot pienenevät ja käyttövarmuus paranee.

Vedenjäähdytyskoneet vaativat useimmiten paljon tilaa, joten tilavaraukset laitteille tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Nestelauhduttimet asennetaan tyypillisesti rakennusten katoille, joten koneen paikkaan tulee kiinnittää huomiota, jotta liian pitkiltä putkivedoilta vältytään. Lauhduttimet ja niiden suojarakenteen aiheuttavat myös varjostuksia ja rajoitteita katolle mahdollisesti asennettavien aurinkoenergiajärjestelmien osalta (Aittomäki, 2012).

Kylmäaineina vedenjäähdytyskoneissa käytetään usein samoja kylmäaineita, kuin muissa lämpöpumpuissa. Laitteiden käyttämiin kylmäaineisiin kannattaa kiinnittää

huomioita, sillä kylmäaineilla on suuri vaikutus kylmäkertoimeen ja energiankulutukseen. Kylmäaineiden käyttöä on säännelty paljon viime vuosikymmenten aikana EU:n asetuksen ja kansainvälisten sopimusten avulla. Osa nykyiselläänkin käytössä olevista kylmäaineista tullaan todennäköisesti kieltämään tulevaisuudessa, joten kylmäaineiden saatavuus ja hinta saattavat olla ongelmallista (Motiva 2016). Mikäli päädytään nykyisellään sellaiseen järjestelmävalintaan, jonka kylmäaineen tulevaisuus on epävarmaa, tulisi toteuttaa ja suunnitella järjestelmiä, joissa kylmäainetäytös olisi mahdollisimman pieni.

4.3 Bioenergia

Bioenergia on Suomelle merkittävä uusiutuvan energian lähde. Sitä voidaan käyttää laajasti eri kokoluokissa aina yksittäisistä kotitalouksista suuriin kiinteistöihin. Myös alue- ja kaukolämpölaitokset ovat viime vuosina lisänneet bioenergian käyttöä fossiilisiin polttoaineisiin nähden merkittävästi (Motiva, 2019c).

Bioenergialla tarkoitetaan biomassasta eli eloperäisestä aineesta, kuten esimerkiksi kasveista, puista ja jätteistä tuotettua energiaa. Biomassaa on mahdollista käyttää energiantuotannossa joko sellaisenaan tai jalostaa se esimerkiksi nestemäiseksi tai kaasumaiseksi polttoaineeksi. Nestemäisiä lopputuotteita voi olla esimerkiksi biodiesel ja bioetanoli. Valtaosa bioenergiasta on Suomessa kuitenkin puuperäistä energiaa, jota tuotetaan pääosin metsäteollisuuden laitoksissa (Motiva, 2019c).

Biomassalla tuotettu rakennusten lämmitysenergia tyypillisesti saadaan pilkkeestä, brikketeistä, hakkeesta tai pelleteistä. Näiden lämpöarvo on kuitenkin paljon huonompi verrattuna esimerkiksi öljyyn, jonka vuoksi biolämmityskattilat vaativat suuren tilatarpeen polttoaineen varastointia varten. Korjausrakentamisessa suuremman mittakaavan biolämmityskattilan toteutus saattaa olla haastavaa, sillä varastointitilan järjestäminen on yleensä hankalaa toteuttaa jälkikäteen (Motiva, 2019c).

Polttoaine tulee myös varastoida kuivassa tilassa, sillä poltettavan biomassan altistuminen kosteudelle aiheuttaa lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen heikkenemistä. Yhden

millimetrin paksuinen kerros nokea lämmönvaihtopinnoilla huonontaa lämmönsiirtoa noin 5%. Huonon palamisen seurauksena kyseinen nokikerros voi muodostua jo muutamman tunnin kuluessa. Oikein toimitavat nykyaikaiset kattilat voivat saavuttaa lämmön-tuotannossa jopa 90% hyötysuhteen (Tuomi, 2013).

Biolämmitysjärjestelmän toiminta vaatii myös jatkuvaa seuranta. Esimerkiksi järjestelmä vaatii säännöllistä puhdistusta, sillä laitteiden puhtaustaso vaikuttaa merkittävästi järjestelmän hyötysuhteeseen. Käytettävästä polttoaineesta riippuen jotkin kattilatyypit vaativat puhdistuksen jopa 1-2 kuukauden välein, mutta usein täysautomaattisissa kattiloissa muutama kerta vuodessa on riittävä (Tuomi, 2013). Lisäksi polttoaineen käytössä tulee huomioida polttoaineen saatavuus, käsittely, logistiikka, vastaanotto ja varmuus-varastointi.

Tyypillisin rakennuksissa käytettävä biolämmitysjärjestelmä koostuu kattilasta, polttimesta, siirtoruuvista ja varastosiilosta. Toimintaperiaatteeltaan kattilat ovat kuitenkin lähellä toisiaan. Kiinteän polttoaineen järjestelmä koostuu karkeasti viidestä eri komponentista: siilosta, kattilasta, siirtoruuvista, polttimesta ja ohjausyksiköstä. Ohjausyksikkö säätelee polttoaineen siirtoruuvia, palamisilmaa ja polttimen toimintaa tarvittavan lämmöntarpeen mukaan (Tuomi, 2013).

4.4 Aurinkoenergia

Aurinkoenergian hyödynnettävyyttä Suomessa rajoittaa tuotannon ja tarpeen eriaikaisuus sekä maantieteellinen sijainti. Näistä seikoista huolimatta aurinkoenergiassa on paljon hyödyntämispotentiaalia, sillä Etelä-Suomessa on mahdollista tuottaa saman verran energiaa kuin esimerkiksi Saksan keskiosissa. Vastaava säteily määrä voidaan saavuttaa asentamalla paneelit tai keräimet etelään päin sekä optimaaliseen kulmaan säteilyyn nähden. Aurinkoenergian hyödyntämistä on kuitenkin jarruttanut kalliit alkuinvestoinnit ja pitkät takaisinmaksuajat (Auvinen ja muut, 2016).

Aurinkojärjestelmiä suunniteltaessa ja mitoitettaessa on syytä kartoittaa keräimien vaatima kattoala. Kannattavuutta arvioidessa on huomioitava muut kattoalaa vievät talotekniset laitteet sekä varjostukset. Yleensä kattoala on sen verran rajallinen, että aurinkosähkö ja -lämpö voivatkin olla kilpailevia järjestelmiä, jolloin energian käyttäjä joutuu valitsemaan yleensä vain toisen ratkaisun (Pöyry Oy, 2017). Katon ominaisuudet ovat muutenkin merkittävässä asemassa siinä, kuinka edullisesti aurinkoenergiajärjestelmä on mahdollista asentaa ja kuinka tehokasta tuotanto on. Katon ominaisuuksista huomiota tulisi ottaa mm. katon kunto, materiaali, ilmansuunta ja kallistus (Auvinen ja muut, 2016).

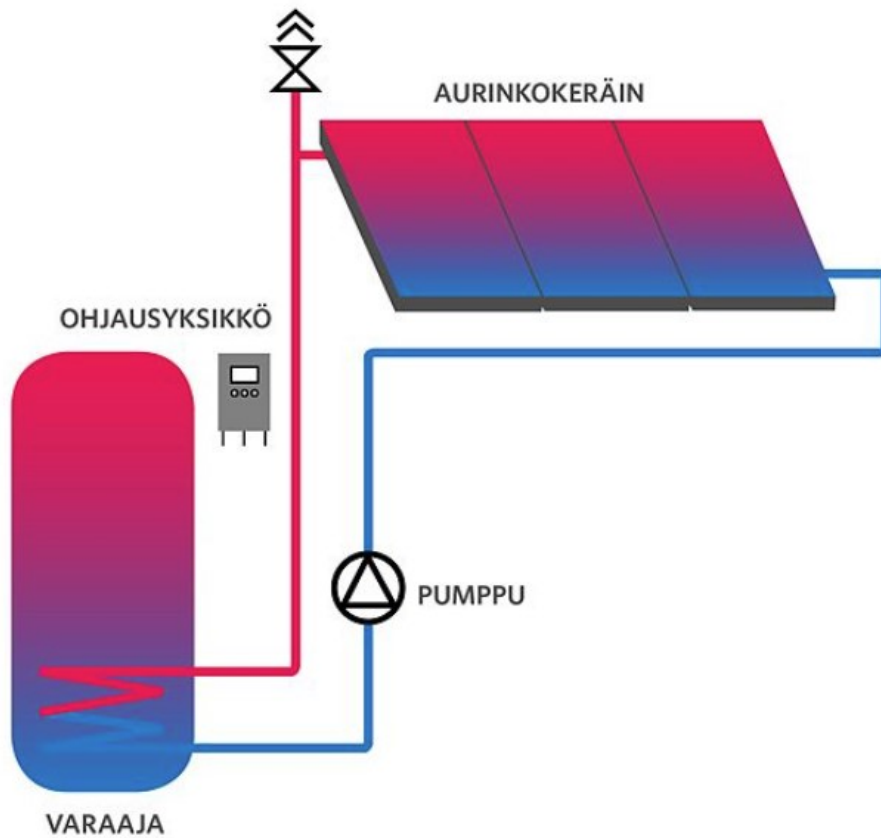
Aurinkojärjestelmiä ei kannata ylimitoitaa, vaan kaikki tuotettu energia tulisi pyrkiä hyödyntämään omaan käyttöön. Ylimääräinen sähkö tai lämpö on mahdollista myydä energiayhtiöiden verkkoon, mutta nykyisellä hinnoittelulla kummankaan myynti ei ole taloudellisesti kannattavaa. Varastointiteknologiat eivät ole vielä kehittyneet riittävästi, jotta kesäajan sähkön ja lämmön tuotantoa voitaisiin varastoida kannattavasti talven kuluksista varten (Pöyry Oy, 2015). Mikäli hankintakustannukset alenevat ja varastointiteknologiat kehittyvät vuosien saatossa vielä lisää, tulee aurinkoenergian kannattavuus paranemaan tulevaisuudessa huomattavasti.

4.4.1 Aurinkolämpö

Auringon lämpösäteilyä voidaan hyödyntää tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Lämmitysenergian keräykseen voidaan käyttää erilaisia aurinkokeräimiä, joissa lämpö voidaan siirtää ilmaan, veteen tai johonkin muuhun nesteeseen. Säteilyenergiasta aurinkolämpöjärjestelmillä voidaan muuttaa lämmöksi noin 25-25% ja tyypillinen keräimellä tuotettu energiamäärä Suomessa on noin 0,4 MWh/m² vuodessa (Pöyry Oy, 2017).

Aurinkokeräimestä lämpöenergia siirretään siirtoputkistolla lämmönsiirtoaineen välityksellä eteenpäin lämpövaraajan aurinkolämpökierukan tai ulkoisen lämmönsiirtimen avulla. Varaajasta lämmin vesi voidaan käyttää käyttövetenä tai lämmityspiirissä.

Keräinpiiri itsessään on suljettu järjestelmä. Alla kuvassa 10 on havainnollistettu aurinkolämpöjärjestelmän eri osat ja sen toimintaperiaate (Motiva, 2019d).



Kuva 10. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate (Motiva, 2019d)

Aurinkolämmitys soveltuu parhaiten täydentäväksi lämmitysjärjestelmäksi päälämmitysjärjestelmän rinnalle, sillä talviaikaan ei pystytä tuottamaan tarvittavaa lämpö määrää rakennuksen tarpeisiin. Suurin potentiaali aurinkolämmössä onkin siis kesäkaudella, jolloin lämmitystä ei juuri tarvita muuta kuin käyttöveden lämmitykseen. Syntyvän lämmön ja kulutuksen ajoittumista voidaan tasata varastoimalla lämpöä lämminvesivaraajaan. Aurinkolämpöjärjestelmä kannattaakin tyypillisesti mitoittaa lämpimän käyttöveden tarpeen mukaan, jolloin se lähinnä soveltuukin kohteisiin, joissa lämpimän käyttöveden tarve on riittävää (Pöyry Oy, 2017).

Aurinkolämmön kannattavuutta tukee myös sen tuoma vähenemä päälämmitysjärjestelmän käyttöasteeseen ja sitä kautta ostoenergian määrään sekä rakennuksen E-lukuun. Se ei kuitenkaan pienennä päälämmitysjärjestelmän mitoitusta, sillä mitoitus tehdään kulutuksen huipun mukaan. Lämmityksen kulutuksen huippu ajoittuu talvelle, jolloin aurinkolämpöä ei käytännössä Suomessa voida hyödyntää (Pöyry Oy, 2017).

Aurinkolämpöjärjestelmien käyttökustannukset ovat muihin järjestelmiin nähden pienet, sillä aurinkokeräimissä ei juurikaan ole huoltoa vaativia kuluja tai liikkuvia osia. Paneelien tehoa ja käyttöikää voi rajoittaa pölystä, lämpötilavaihteluista, tuulesta tai lumesta aiheutuva rasitus. Keräimien käyttöikä nykyään saattaa olla valmistajien mukaan jopa 30-40 vuotta, mutta keräimien tavanomainen takuu-aika on 25 vuotta. Kiertovesipumppujen käyttöikä on keräimiä pienempi, mutta kuitenkin keskimäärin noin 20-30 vuotta (Pöyry Oy, 2017).

Aurinkolämpöjärjestelmien kustannukset koostuvat pääosin investointikustannuksista. Aurinkolämmitys vaatii lämmön varastointiin lämminvesivaraajan, joten se soveltuu mainiosti sellaisten järjestelmien yhteyteen, joissa sellainen löytyy jo valmiiksi. Esimerkiksi maalämpöjärjestelmä sisältää usein käyttövesivaraajan, jota voidaan hyödyntää myös aurinkolämpöjärjestelmän kanssa. Kaukolämpökohteissa ei tyypillisesti ole käyttövesivaraajaa, joten siihen investointi kasvattaa kuluja merkittävästi (Pöyry Oy, 2017).

5 Laskentaperiaatteet ja rajaukset

5.1 Elinkaarikustannukset

Energiajärjestelmien kustannustehokkuus on energiatehokkuuden ohella tärkeä kriteeri valintavaiheessa. Kustannustehokkuutta voidaan tarkastella monista näkökulmista, mutta energiajärjestelmiä tarkastellessa arviointi kannattaa suorittaa koko elinkaaren ajalta. Elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan tyypillisesti kaikkia niitä kustannuksia, jotka aiheutuvat järjestelmän elinkaaren alusta sen loppuun.

Elinkaarilaskennalla pyritään arvioimaan tiettyjen valittujen tai jo olemassa olevien järjestelmien elinkaaren aikana muodostuvia kustannuksia. Elinkaarilaskelmien avulla voidaan vertailla vaihtoehtoisten ratkaisujen elinkaarivaikutuksia perinteisen investointipainotteisen päätöksenteon sijaan ja löytää elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto. Elinkaarikustannustarkastelut ovat hyvä keino vertailla eri järjestelmiä keskenään ja tuovat siten lisäarvoa päätöksenteon tueksi.

Elinkaarikustannukset mittaavat tämän työn yhteydessä kustannuksia, joten mahdollisia tuloja rakennukselle ei oteta huomioon. Erilaiset hankintahintaan vaikuttavat alennukset, hyvitykset ja palautukset huomioidaan kuitenkin nettokustannuksissa. Laskennassa ei oteta huomioon yleisen inflaation tai hintojen muutoksien vaikutusta kustannuksiin, vaan kustannustasona käytetään nykyhetken hintoja. Poikkeuksena kuitenkin huomioon on otettu energian hinta, joka on oletettu nousevan vuosittain.

Uudisrakennusten energiatehokkuusinvestointien takaisinmaksuaika on tyypillisesti alle 10 vuotta. Korjausrakentamisen puolella energiaremontin takaisinmaksu aika on merkittävästi pidempi, yleensä noin 10-20 vuotta. Mikäli takaisinmaksuaika on alle 20 vuotta, huomioiden sekä investointi- että käyttökustannukset, voidaan investointi arvioida kannattavaksi. Rakentamisvaiheessa voi olla kannattavampaa pitkällä tarkastelujaksolla valita kalliimpi ratkaisu, mikäli voidaan osoittaa sen maksavan itsensä takaisin halvempaan järjestelmään nähden.

5.2 Lähtötiedot

Rakennusten taloteknisten järjestelmien suunnittelu perustuu aina johonkin käsitteelliseen tai matemaattiseen malliin. Mallin avulla ei voida kuvata järjestelmän käyttäytymistä täydellisesti, mutta mahdollisesti mallin antamat tulokset kuvaavat järjestelmän käyttäytymistä riittävällä tarkkuudella, jotta sen avulla voidaan tehdä perusteltuja valintoja eri kohteissa. Esimerkiksi rakennuksen energiakulutusta voidaan arvioida etukäteen erilaisten energialaskelmien tai dynaamisen simuloinnin kautta. Yksityiskohtaisemmat menetelmän mahdollistavat tarkemman kuvauksen, mutta vaativat enemmän erilaisia lähtötietoja sekä tarkempaa tulosten arviointia. Mahdolliset puutteet laskennan lähtötiedoissa tai laskentamenetelmissä aiheuttaa eroja laskennan tulosten ja toteutuneiden arvojen välille (Vinha ja muut, 2019). Tämä taas voi aiheuttaa vääriä valintoja teknillistaloudellisuuden ja teknisen toimivuuden näkökulmasta.

Tämän työn tarkasteluissa rakennusten energiajärjestelmien komponenttien, kuten tuotantolaitosten mitoituksen määrittelyä niiden energiatarpeiden mukaan. Näin ollen keskeisenä eri rakennustyyppien energiankäytön arviointi on keskeisessä roolissa tässä työssä suoritettavassa analyysissä. Uudisrakennuskohteissa rakennusten energiankäyttö pitää arvioida ja laskea rakennuskohtaisten lähtötietojen avulla etukäteen järjestelmiä määritellessä. Mikäli lähtötiedoissa on puutteita tai rakennukseen halutaan tehdä tila- ja rakennemuutoksia, niin tulee nämä huomioida laskelmia tehdessä. Korjausrakennuskohteissa energiankäyttöä voidaan määritellä usein aiempien mittatietojen ja kulutuksen mukaan. Mikäli tarkempia tietoja ei ole vielä saatavilla, niin voidaan käyttää Ympäristöministeriön antamia ohjearvoja (YM, 2017b).

5.3 Laskentaperiaatteet

Eri tahojen taloudellisuuslaskelmat ja niiden tulokset eivät yleensä ole suoraan vertailukelpoisia, mikäli ne on tehty eri pääperiaatteilla. Eroavaisuudet laskentaperiaatteissa ja peruslähtöarvoissa johtaa erilaisiin kannattavuustuloksiin. Tässä työssä elinkaarikustannusten laskennan pohjana sovelletaan yleisen rakennusten elinkaarilaskennan

pääperiaatteita. Muutamia pieniä muutoksia muuan muassa tarkastelujakson ja käyttöiän kohdalle on jouduttu tekemään, sillä tarkastelun kohteena on pelkästään lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät koko rakennuksen sijasta. Elinkaarilaskelmien peruseriaatteet:

- Laskenta suoritetaan reaaliarvoilla, jolloin inflaatiota ei huomioida
- Kaikki kustannukset ilmoitetaan ilman arvolisäveroa, myös energian hinnan osalta
- Tarkastelujakso 25 vuotta, joka on myös järjestelmän oletettu käyttöikä
- Laskenta reaalisella laskentakorolla. Perusarvona käytetty 3%
- Sähkön, kaukolämmön ja -kylmän ostoenergian hinnat Helen Oy:n hintatason mukaan
- Puupelletin hinta Tilastokeskuksen selvityksen mukaan (TK, 2019a)
- Kustannustasona vuoden 2019 hinnat
- Energiahintojen eskalaationa 2%/vuosi

Elinkaarikustannuksiin luetaan mukaan tässä työssä järjestelmien alkuinvestointi, ylläpito- ja huoltokustannukset sekä energiakustannukset. Mahdollisia purkukustannuksia tai investointitukia ei laskelmissa huomioida. Investointitukia ei nykyisellään myönnetä uudisrakennuksiin, mikäli kyseessä ei ole uuden teknologian pilotointi. Lisäksi korjausrakennuskohteissa tukia ei myöskään myönnetä, jos hankkeen seurauksena siirrytään kaukolämmöstä erilliseen tuotantoon (Motiva, 2019e). Myöskään energiataloudellisille investoinneille tyypillisesti järjestelmällä ei katsota olevan jäännösarvoa tarkastelujakson lopussa, sillä sen oletetaan olevan käyttöikänsä päässä.

5.4 Hiilidioksidipäästölaskenta

Rakennusten hiilijalanjälkeä tarkastellaan usein rakennusmateriaalien ja niiden aiheuttamien päästöjen kautta. Suuri merkitys näiden lisäksi on sillä, miten rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergia tuotetaan. Hiilidioksidipäästölaskenta auttaa arvioimaan suunniteltujen tai toteutuneiden rakennusten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien

vaikutuksia kasvihuonepäästöihin. Vertailun tuloksia voidaan käyttää yhtenä valintaperusteena rakennuskohteeseen valittavalle järjestelmälle ja näin ollen mahdollisesti pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä.

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien aiheuttamat päästöt aiheutuvat ostoenergian tuotamista päästöistä, joihin tässä työssä katsotaan ostosähkö sekä kaukolämmön, kaukojäähdytyksen tuotanto. Hiilidioksidipäästöt on laskettu rakennuksen kulutusarvion mukaan, jolloin laskennassa on huomioitu tuotannon ja siirron häviöt. Hiilidioksidipäästöjä lasketaan usein päästökertoimien avulla, jotka ovat usein ilmoitettu vuoden keskiarvona, jolloin ne eivät vastaa täysin absoluuttista totuutta, mutta niiden avulla voidaan kuitenkin vertailla riittävän tarkasti energiantuotantomuotojen ja kulutustenmuutosten vaikutuksia päästöihin. Päästökertoimet vaihtelevat paljon alueellisesti, mikä johtuu hyvin paljon tuotantotavasta ja mahdollisesti käytettävästä polttoaineesta. Esimerkiksi kaukolämpö voidaan tuottaa fossiililla polttoaineella, jolloin päästökerroin on korkea tai vaihtoehtoisesti uusiutuvilla energialähteillä ja teollisuuden sivutuotteena, jolloin päästökerroin on matala.

Energian tuottajana ja toimittajana tässä työssä pidetään sähkön, kaukolämmön ja -jäähdytyksen osalta Helen Oy:tä. Yleisesti päästölaskelmia tehdessä tulee kuitenkin aina käyttää kohteeseen suunnitellun energiantuottajan päästökertoimia, sillä eroavaisuuksia on paljon eri yhtiöiden ja tuotantolaitosten kesken. Puupelletin päästökertoimena käytetään Tilastokeskuksen selvityksen kerrointa 0, jonka mukaan biopolttoaineiden hiilidioksidipäästöjä ei lasketa Suomen kasvihuonepäästöjen kokonaismäärään, eikä huomioida päästökaupassa (TK, 2019b). Ominaispäästökertoimet vuonna 2018 kaukolämmön ja -jäähdytyksen sekä sähkön osalta oli (Helen Oy, 2019):

- kaukolämpö 158 g/kWh
- kaukojäähdytys 72 g/kWh
- sähkö 191 g/kWh
- Puupelletti 0 g/kWh

Biopolttoaineiden poltosta aiheutuu jonkin verran CO₂-päästöjä, mutta biomassan kasvamisen aikana ne sitovat hiilidioksidia itseensä ja on katsottu näin hyvittävän polton seurauksena aiheutuvat päästöt. Lisäksi pelletit tyypillisesti valmistetaan puuteollisuuden sivutuotteista, joille ei välttämättä olisi muuta käyttöä. Huomioitavan seikkana voidaan myös katsoa, että biomassat vapauttavat maatumisen yhteydessäkin kasvihuonepäästöjä.

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien hiilidioksidipäästöt lasketaan työssä kaavalla 1.

$$\text{CO}_2 - \text{päästöt} = \frac{Q \cdot \text{päästökerroin}}{1000} \quad (1)$$

missä CO₂-päästöt on hiilidioksidipäästöjen määrä, Q on tuotantotavan energiantarve ja päästökerroin on energian CO₂-ominaispäästökerroin.

5.5 Laskentatyökalu

Työn yhtenä keskeisenä tavoitteena on luoda työkalu, jolla voidaan vertailla helposti isojen rakennusten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien elinkaarikustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä. Laskentatyökalu toteutetaan Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmalla, sillä se on helppokäyttöinen, avoin ja havainnollinen laajempaa käyttöä varten. Työkalua voidaan hyödyntää jatkossa järjestelmien vertailun lisäksi tarjousvaiheessa apuna järjestelmien budjettitason hinnoittelussa.

Laskentatyökaluun syötetään rakennuksen pinta-ala ja energiatarvelaskelmien tulokset niille merkityille soluille, joista työkalu poimii tarvittavat luvut laskentaa varten. Muita tietoja järjestelmien vertailuun ei lähtökohtaisesti vaadita. Muut laskentaan tarvittavat tiedot löytyvät työkalusta valmiiksi syötettynä, kuten esimerkiksi ostoenergian hintatiedot ja laitteiden hyötysuhteet. Valmiiksi syötetyt tiedot on jaettu omaan osioon, josta ne voidaan muuttaa tai päivittää tarpeen mukaan. Laskentatyökalussa kiinteistön energiantarpeet on jaettu alla esitetyllä tavalla:

- Tilojen lämmitystarve [MWh/v]
- Lämmin käyttövesi [MWh/v]
- Jäähdytystarve [MWh/v]
- Lämmityksen huipputeho [kW]
- Jäähdytyksen huipputeho [kW]

Energiatarvelaskelmien syötön jälkeen työkalu piirtää kaaviot mm. järjestelmien elinkaarikustannuksista, investointihinnoista ja hiilidioksidipäästövertailuista. Edellä mainituista kaavioista löytyvät esimerkit kappaleesta 6.

5.6 Tulosten virhearviointi

Elinkaarilaskelmat ovat hyvin usein riippuvaisia ennustetuista kustannuksista ja arvioista hintojen nousun suhteen. Ennusteiden tekeminen varsinkin pitkälle aikavälille on haastavaa, sillä muuttujia on usein paljon. Oletuksia joudutaan tekemään, kun tarkempia lukuja tai laadullista tietoa ei ole vielä saatavilla. Myös lähtötietoja tulisi tarkastella aina tietyllä kriittisyydellä, jotta laskenta kuvaa mahdollisimman tarkasti varsinaista toteumaa. Esimerkiksi järjestelmien käyttöikää määriteltäessä tehdään tiettyjä oletuksia laitteiden käytöstä ja huollosta. Jokin tietty laite voi kestää käytössä 15 vuotta hyvin huollettuna, mutta ilman huoltoa vain 5 vuotta. Muita piilotettuja seikkoja, joita laskennassa on hyvin vaikea huomioida voi olla esimerkiksi tarvittavat muutostyöt.

Laskennassa käytetyt hinnat on saatu alan yrityksiltä, jotta järjestelmien ja palveluiden tämänhetkisestä hintatasosta saataisiin mahdollisimman realistinen kuva. Kilpailevien yritysten hintoja on vertailtu jonkin verran keskenään, mutta on kuitenkin mahdollista, että osa laitteista ja palveluista on saatavilla vertailun ulkopuolelle jääneeltä toimittajalta edullisempaan hintaan.

6 Esimerkkikohteiden tulokset ja niiden tarkastelu

6.1 Esimerkkikohde 1

Ensimmäisenä esimerkkikohteena toimii rakennus, jolla on useampi eri käyttötarkoitus. Alemmissa kerroksissa on liiketiloja sekä toimistotiloja ja ylemmissä kerroksissa asuntoja. Rakennus tulee sijaitsemaan kaupunkialueella yhtenä osana isompaa kokonaisuutta ja kaukolämpöverkoston alueella. Rakennus on uudisrakennus ja sen pinta-ala on noin 4800 m².

Esimerkkikohteen energiankulutus ja tehontarpeet on mallinnettu IDA ICE -simulointiohjelmistolla. Simuloinnin pohjana on käytetty arkkitehdiltä saatua rakennuksen IFC-mallia, joka vastaa mahdollisimman tarkasti rakenteiltaan kohteen todellista tilannetta sekä paikallisia sääolosuhteita. Simuloinnin tuloksena rakennuksen vuotuiseksi energiantarpeeksi saatiin seuraavat arvot:

- Tilojen lämmitystarve: 300 MWh/v
- Lämmin käyttövesi: 108 MWh/v
- Jäähdytystarve: 45 MWh/v
- Lämmityksen huipputeho: 175 kW
- Jäähdytyksen huipputeho: 171 kW

Kohteen ominaispiirteet huomioiden päätettiin aurinkoenergiajärjestelmät rajata vertailun ulkopuolelle. Aurinkoenergiajärjestelmien kohdalla haasteita aiheutti katon rakenne, varjostukset sekä muu katolle tuleva tekniikka. Katon rakenteen ja suuntauksen vuoksi aurinkokeräimet olisivat myös vaatineet investointeja kasvattavia tukirakenteita, jolloin järjestelmän kustannuksen olisi kasvaneet merkittävästi. Muiden järjestelmien toteuttamisen kohdalla ei todettu esteitä, joten vertailuun valittiin seuraavat järjestelmät:

- Kaukolämpö ja vedenjäähdytyskone
- Kaukolämpö ja kaukokylmä
- Maalämpö, sähkövastus ja maakylmä
- Maalämpö, maakylmä ja kaukolämpö
- Ilma-vesilämpöpumppu, kaukolämpö ja vedenjäähdytyskone
- Pellettikattila ja vedenjäähdytyskone

Maalämpöpumpun mitoituksena käytettiin 70% osatehomitoitusta, jolla pystytään saamaan lähes täysi energiapeitto. Huipputeho maalämpöpumpulla tuotetaan sähkövastuksen avulla. Ilma-vesilämpöpumpulla mitoituksena 50%, jonka yhteydessä huipputeho ja käyttövesi on tuotettu kaukolämmön avulla. Hyötysuhteina laskennassa on käytetty seuraavia arvoja:

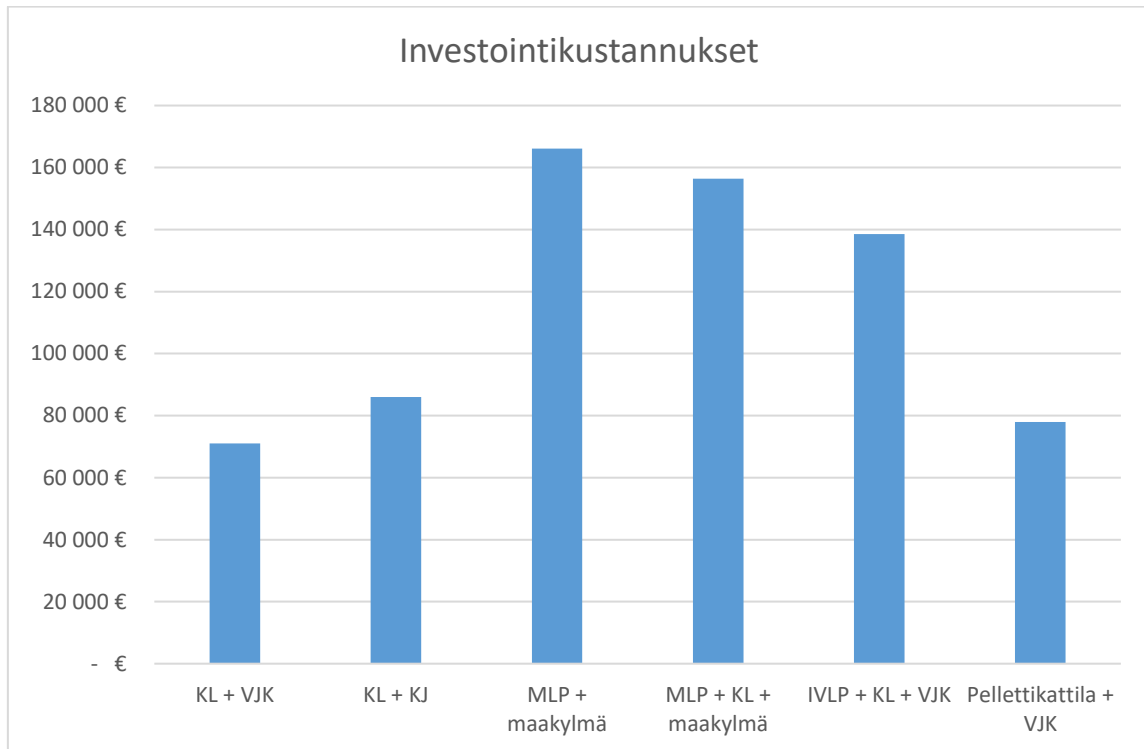
- Maalämpöpumppu 3,5
- Ilma-vesilämpöpumppu 2,5
- Vedenjäähdytyskone 3
- Puupellettikattila 0,85

6.1.1 Elinkaarikustannusvertailu

Sähkön ja kaukolämmön toimittajana käytettiin laskentaperiaatteiden mukaisesti paikallisen toimittajan Helen Oy:n hinnastoa. Sähkön hinta sisältää energia- ja siirtomaksun ja kaukolämmön ja -jäähdytyksen hintana on laskennallinen vuositasoitettu arvo. Pelletin osalta hintana käytettiin Tilastokeskuksen energiahintojen selvitystä (2019a). Laskennassa käytettyjen arvolisäverottomat hinnat:

- Sähkö: 79,7 €/MWh
- Kaukolämpö: 49,2 €/MWh
- Kaukokylmä: 27,0 €/MWh
- Puupelletti: 44,1 €/MWh

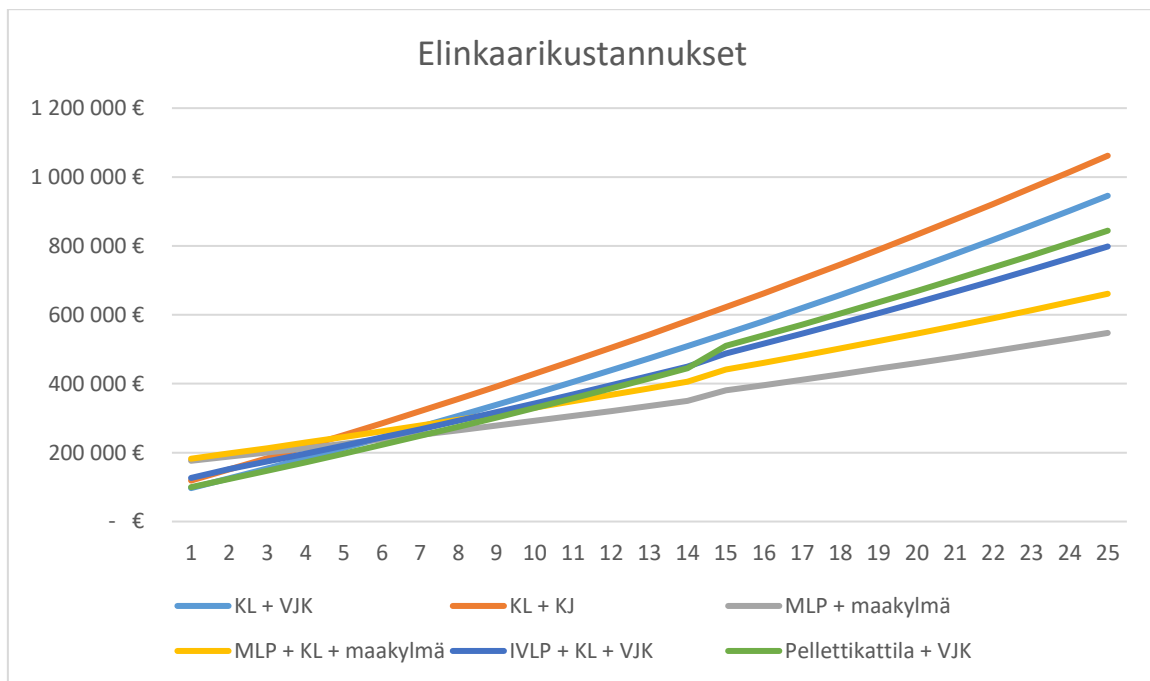
Kuvassa 11 on esitetty hybridikiinteistön tarkasteltavien lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien investointikustannukset. Laitteiston hinnan lisäksi investointikustannuksiin on huomioitu asennuskustannukset sekä kaukolämmön ja -jäähdytyksen osalta liittymäkustannukset.



Kuva 11. Järjestelmien investointikustannukset

Maalämmön ja maakylmän yhdistelmä on investointikustannuksiltaan kaikista kallein vaihtoehto, jossa energiakaivojen poraus muodostaa suurimman yksittäisen osuuden investointikustannuksista. Kaukolämmön ja -jäähdytyksen tapauksessa laitteistoinvestoinnit ovat halvimmat, mutta liittymämaksujen osuus nostaa investointikustannuksia merkittävästi. Edullisimmaksi järjestelmäksi investointikustannusten suhteen tulee kuitenkin lämmön tuottaminen kaukolämmön avulla ja jäähdytyksen toteutus vedenjäähdytyskoineella. Eroa halvimman ja kalleimman järjestelmän välillä on noin 95 000 €.

Kuvassa 12 on esitetty vertailtavien lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien elinkaarikustannusten kertyminen 25 vuoden ajalta. Kuvassa käyrät alkavat ensimmäisestä vuodesta, jonka kohdalla kustannukset muodostuvat järjestelmien alkuinvestoinnista ja ensimmäisen vuoden energia- ja huoltokustannuksista. Toisesta vuodesta alkaen kustannusten tasainen kasvu johtuu energia- ja huoltokustannuksista sekä 15 vuoden kohdalla lämpöpumpuilla kompressorien uusiminen ja pellettikattilan huolto.



Kuva 12. Elinkaarikustannusten kertyminen 25 vuoden ajalta, kumulatiivinen

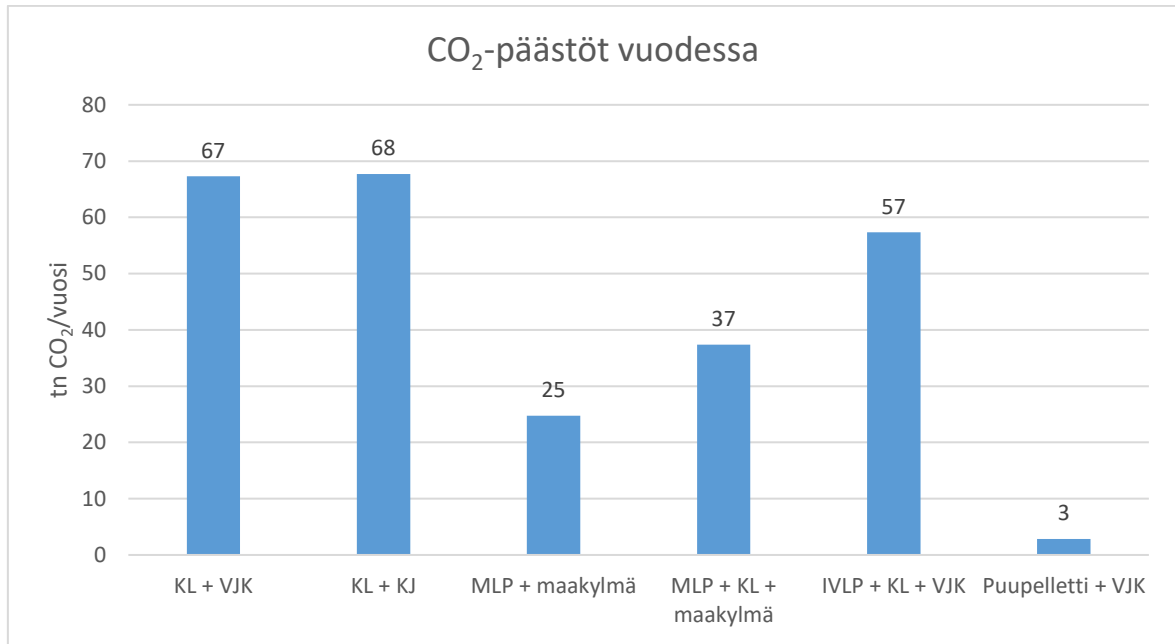
Kuvasta 12 voidaan huomata, että maalämmön ja maakylmän yhdistelmä on investointikustannuksiltaan suurin, niin se kuitenkin saavuttaa muut vertailussa olevat järjestelmät viimeistään noin 10 vuoden jälkeen. Suurin osa elinkaarikustannuksista muodostuu ostoenergian kustannuksista jokaisella järjestelmällä, jolloin järjestelmien investointikustannusten merkitys kokonaiskuvassa pienentyy. Maalämpöpumpun hyödyntäminen jäähdytyksen tuotannossa parantaa järjestelmän kannattavuutta, sillä lämmön varastointi kesäaikaan energiakaivoihin parantaa hyötysuhdetta lämmityskaudella. Säästöä 25 elinkaaren ajalta kertyy noin 515 000 € kalleimpaan järjestelmään nähden. Käytännössä

maalämmön ja -kylmän yhteisjärjestelmä on lähes puolet halvempi elinkaarikustannuksiltaan kaukolämpöön ja -jäähdetyksen nähden.

6.1.2 Hiilidioksidipäästövertailu

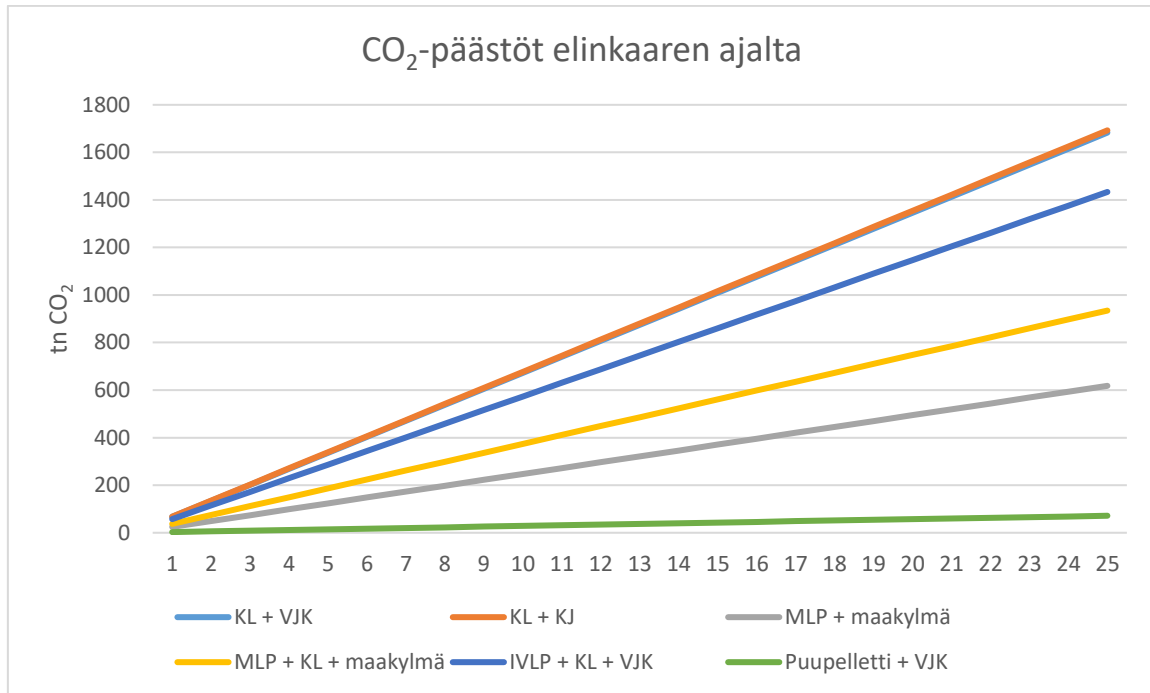
Kohteen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt aiheutuvat ostosähkön sekä kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tuotannon päästöistä. Kiinteistön omistaja voi valita lopullisen sähköntoimittajansa itse, jolloin tuotetun sähköenergian ominaispäästökerroin voi vaihdella toimittajasta ja tuotantotavasta riippuen. Kaukolämmön toimittajia alueella on lähes poikkeuksetta vain yksi, joten yksittäisellä asiakkaalla ei tällöin ole mahdollisuutta vaikuttaa ostamansa kaukolämmön päästöihin. Työn rajauksen mukaisesti sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen toimittajana pidetään Helen Oy:tä.

Kuvan 13 vertailusta voidaan huomata, että vuositasolla suurimmat päästöt aiheutuvat kaukolämmön ja -jäähdetyksen yhteisjärjestelmästä. Kaukolämmön aiheuttamat päästöt kattavat kokonaispäästömäärästä noin 95%, sillä lämmityksen tarve on paljon suurempaa jäähdytystarpeeseen nähden. Lisäksi kaukojäähdytyksen päästökerroin on noin puolet pienempi kuin kaukolämmöllä. Tästä johtuen kaukolämmön ja vedenjäähdytyskoneen päästöt ovat lähes samalla tasolla. Jäähdytysjärjestelmien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat kaukojäähdytyksellä 3,2 tn/vuosi, vedenjäähdytyskoneella 2,9 tn/vuosi ja maakylmällä 2,5 tn/vuosi. Kaikista vähäisimmät päästöt aiheutuvat puupellettikattilan ja vedenjäähdytyskoneen yhteisjärjestelmästä, jossa päästöt kokonaisuudessaan aiheutuvat vedenjäähdytyskoneen ostoenergiasta puupelletin päästökertoimen ollessa 0 g/kWh.



Kuva 13. Järjestelmien hiilidioksidipäästövertailu

Kuvasta 14 voidaan paremmin havaita, että hiilidioksidipäästöjen erot järjestelmien kesken kasvavat melko suureksi koko elinkaarta tarkastellessa. On kuitenkin huomioitava, että päästökertoimet tulevat laskemaan tulevaisuudessa EU:n energiatavoitteiden ohjaamana. Päästökertoimien lasku johtaa siihen, että järjestelmien väliset eroavaisuudet hiilidioksidipäästöjen suhteen kaventuvat. Päästökertoimien pienenemistä ja ajoitusta on kuitenkin hankala arvioida, joten tässä työssä päästöt elinkaaren ajalle on laskettu kiinteillä ilmoitetuilla päästökertoimilla.



Kuva 14. Hiilidioksidipäästöt elinkaaren ajalta, kumulatiivinen

Pelkästään kaukolämmöllä valitut ratkaisut ovat vertailussa kaikista eniten saastuttavimpia ja puupellettikattilan hiilidioksidipäästöt lähes olemattomat. Kustannustehokkaimpana elinkaarikustannuslaskelmien perusteella olevan maalämmön ja maakylmän järjestelmän päästöt ovat noin 65% pienemmät kaukolämpöön ja -jäähdytykseen verrattuna. Tuloksista voidaan myös huomata, että maalämmön ja kaukolämmön yhdistelmällä saadaan aikaan merkittäviä päästövähennyksiä kaukolämpöön verrattuna. Kyseisessä kohhteessa säästö olisi näiden välillä noin 40%.

6.2 Esimerkkikohde 2

Toisena esimerkkikohteena toimii opetusrakennus, joka on myös uudisrakennus. Lämmönjako tuotetaan ensimmäisessä kerroksessa lattialämmityksellä ja muissa kerroksissa radiaattoreilla. Rakennus on uudisrakennuskohde ja sen pinta-ala on noin 2150 m². E-luvun vaatimuksena uuden opetusrakennuksen energiatehokkuudelle on E-luvun enimmäisarvo 100 kWh/m²,a (VN, 2017b).

Energia- ja tehontarpeet on mallinnettu esimerkkikohteen 1 tavoin IDA ICE -simulointiohjelmistolla arkkitehdin IFC-mallia hyödyntämällä. Simuloinnin tuloksena rakennuksen vuotuisiksi energiantarpeeksi saatiin seuraavat arvot:

- Tilojen lämmitystarve: 202 MWh/v
- Lämmin käyttövesi: 26 MWh/v
- Lämmityksen huipputeho: 120 kW

Rakennus sijaitsee kaukolämpöverkoston alueella, joten kaukolämpö voidaan ottaa vertailuun mukaan. Kohteeseen ei tule erillistä jäähdytysjärjestelmää, joten jäähdytysjärjestelmiä ei tässä kohteessa oteta mukaan vertailuun. Maalämpöjärjestelmän keruukaivot mahtuvat hyvin kohteessa rakennuksen tontille, eikä ilma-vesilämpöpumpun tai pellettikattilan asennukselle ole esteitä. Aurinkokeräimille ei kohteessa aiheudu varjostuksia ja niillä on tilavarauksena vapaata etelään suunnattua kattopinta-alaa noin 100 m². Vertailuun valittiin seuraavat järjestelmät:

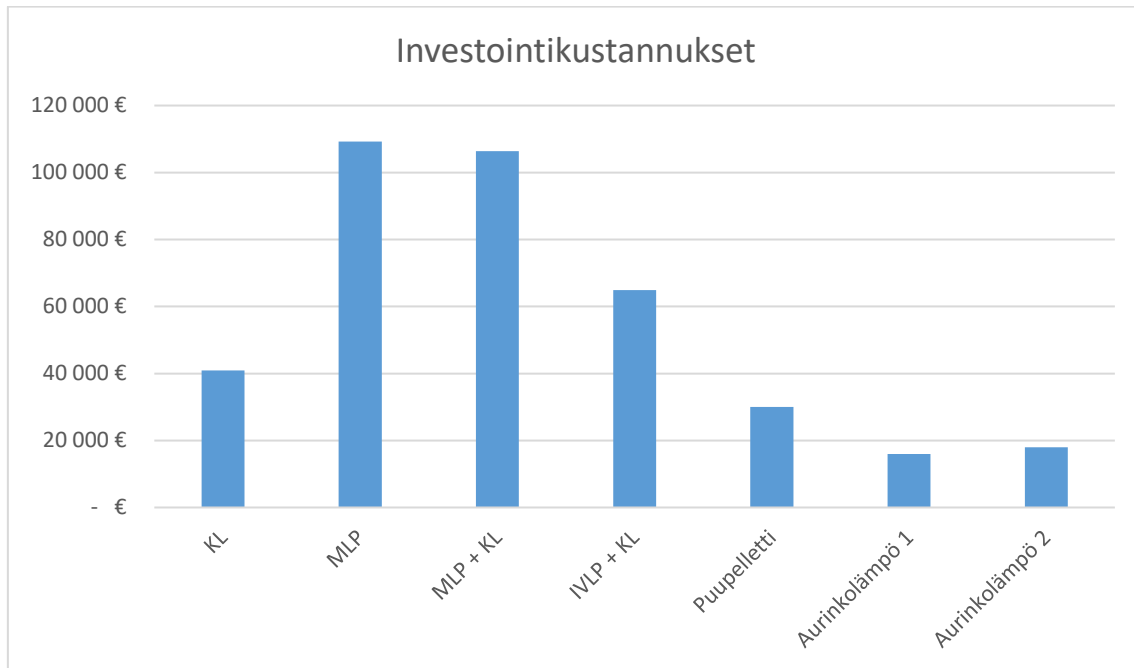
- Kaukolämpö
- Kaukolämpö ja maalämpö
- Maalämpö
- Ilma-vesilämpöpumppu ja kaukolämpö
- Puupellettikattila
- Aurinkolämpö

Laskennassa järjestelmien osatehomitoitukset ja hyötysuhteet ovat esimerkkikohteen 1 mukaisia. Myös laskentaperiaatteet, energiahinnat ja muut lähtöarvot ovat energiantarvetta lukuun ottamatta samoja.

6.2.1 Elinkaarikustannusvertailu

Alla olevassa kuvassa aurinkolämpöjärjestelmälle on laskettu kaksi eri hintaa, sillä investointikustannukset eroavat kaukolämmön ja puupellettikattilan tapauksessa muihin

järjestelmiin nähden. Kaukolämpö- ja puupellettikattilajärjestelmät ei perinteisesti itsessään sisällä erillisiä lämminvesivaraajia, joten aurinkolämmitysjärjestelmän vaatimat varaajat nostavat investointihintaa. Ensimmäinen aurinkolämmön investointihinta on lämpöpumppujen yhteydessä toteutettuna ja toinen kaukolämmön sekä puupellettikattilan yhteydessä toteutettuna.

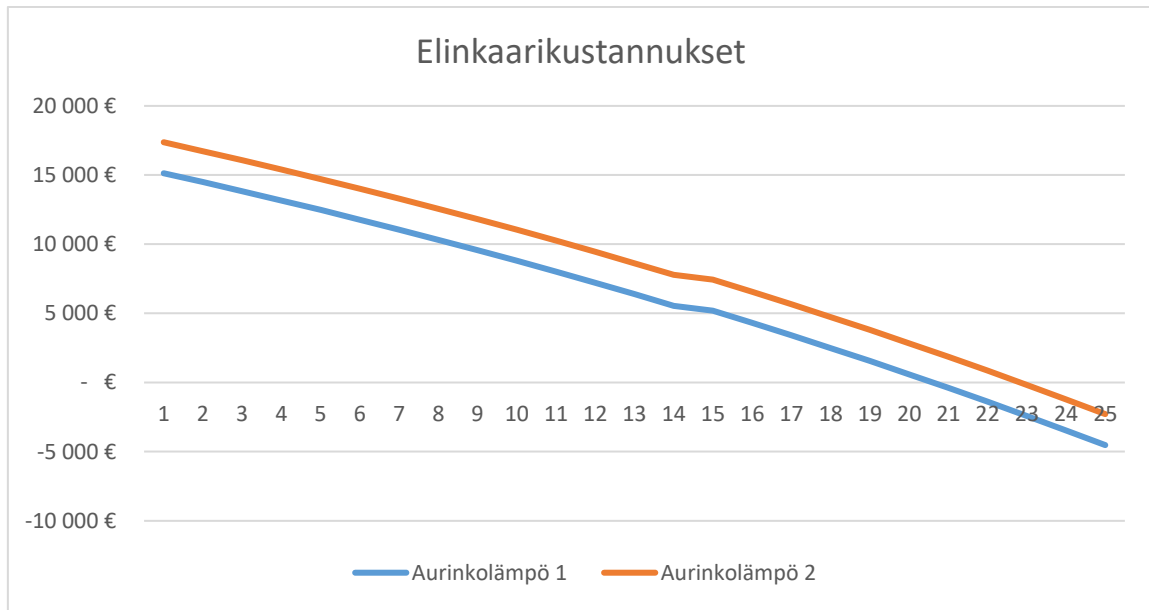


Kuva 15. Järjestelmien investointikustannukset

Päälämmitysjärjestelmistä puupellettikattilan investointihinta on kaikista edullisin, jonka jälkeen kaukolämpöjärjestelmä toiseksi halvimpana. Maalämpöjärjestelmä pelkällään kaikista kallein vaihtoehto ja kaukolämmön kanssa hybridijärjestelmänä investointikustannus lähes sama. Lisälämmitysjärjestelmänä aurinkolämpöjärjestelmät ilman varaajia

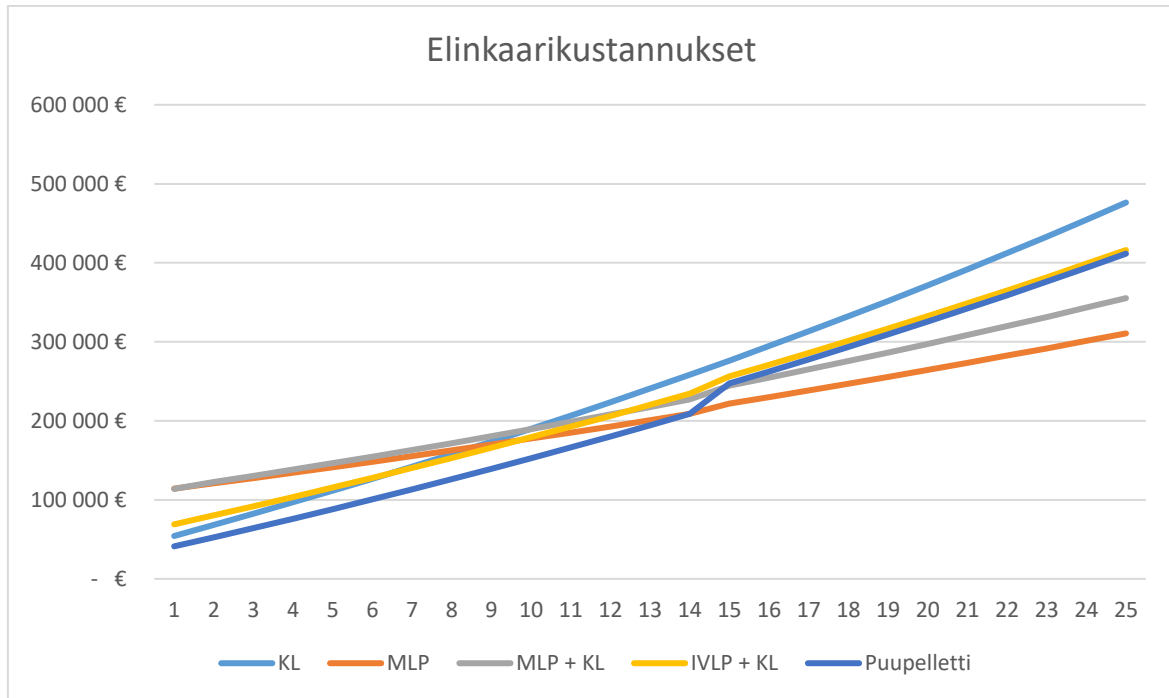
Aurinkolämmön energiantuotoksi on oletettu 0,4 MWh/keräin-m². Kulutusarvioiden perusteella sopiva mitoitus aurinkolämpöjärjestelmälle olisi 40 m², jolloin ylituotantoa ei pääsisi syntymään ja kaikki tuotettu lämpöenergia voitaisiin hyödyntää kokonaisuudessaan rakennuksen omaan käyttöön. Mitoitettu 40 m² aurinkokeräinjärjestelmä vaatii asennustilaa noin 80 m², joten keräimet mahtuvat hyvin suunnitellulle 100 m² alueelle.

Kuvassa 16 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmien elinkaarikustannukset, jossa 1 vaihtoehto havainnollistaa aurinkolämpöjärjestelmän elinkaarikustannuksia lämpöpumppujärjestelmän yhteydessä ja Aurinkolämpö 2 kaukolämmön sekä puupellettikattilan yhteydessä.



Kuva 16. Aurinkolämpöjärjestelmien elinkaarikustannukset, kumulatiivinen

Aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika lämpöpumppujen yhteydessä on 21 vuotta ja kaukolämmön sekä puupellettikattilan tapauksessa 23 vuotta. Kiertovesipumpun vaihto on huomioitu uusittavaksi 15 vuoden jälkeen. Muiden järjestelmien tapaan ensimmäinen vuosi sisältää investointikustannukset, huolto sekä energiakustannukset. Vuosittaisena säästönä järjestelmällä kertyy noin 700 € vuodessa, josta on vähennetty järjestelmän muut vuosittaiset kulut. Elinkaaren aikana säästöä on lämpöpumppujärjestelmien yhteydessä kertynyt noin 4500 € ja kaukolämmön sekä pellettikattilan yhteydessä 2300 €.

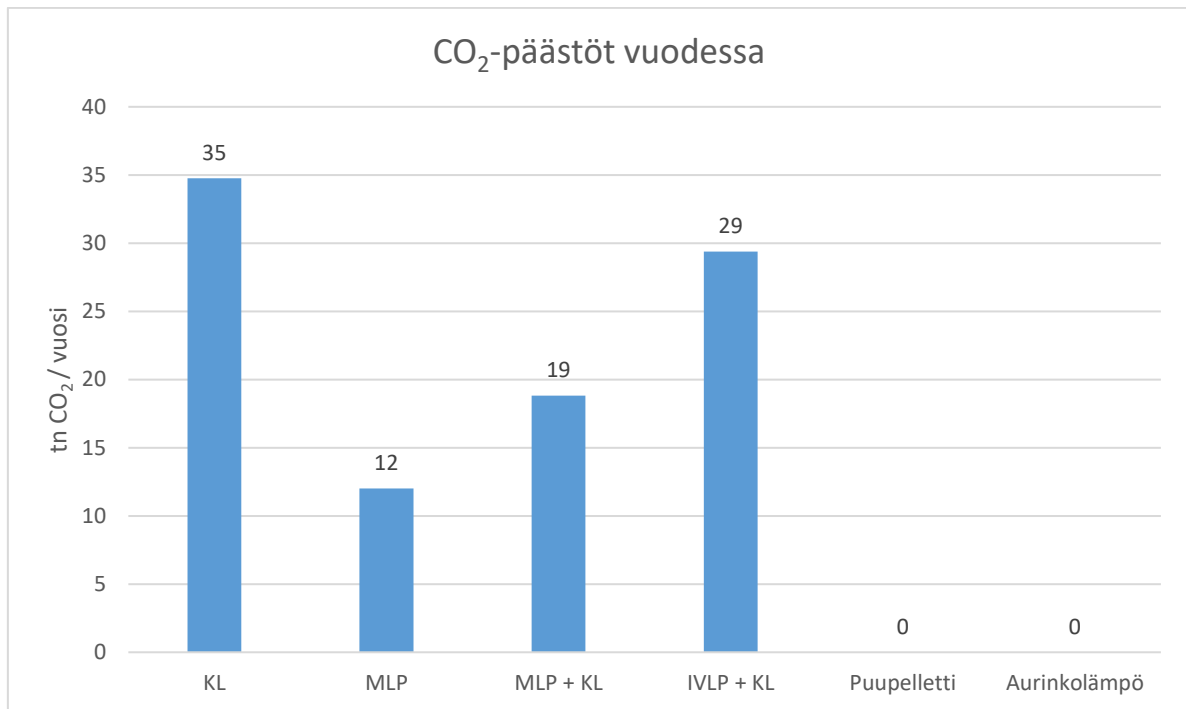


Kuva 17. Elinkaarikustannusten kertyminen 25 vuoden ajalta, kumulatiivinen

Esimerkkikohteen 1 tavoin elinkaarikustannuksissa maalämpöjärjestelmä on vertailussa kaikista edullisin ratkaisu elinkaaren aikana. Maalämpöpumppu saavuttaa muut järjestelmät kustannuksissa viimeistään 9 vuoteen mennessä ja puupellettikattilan 15 vuoteen mennessä. Erot lopullisissa kustannuksissa on hieman pienemmät, kuin esimerkkikohteessa 1 riippuen pääosin pienemmästä lämmitystarpeesta sekä jäähdytystarpeen puuttumisesta.

6.2.2 Hiilidioksidipäästövertailu

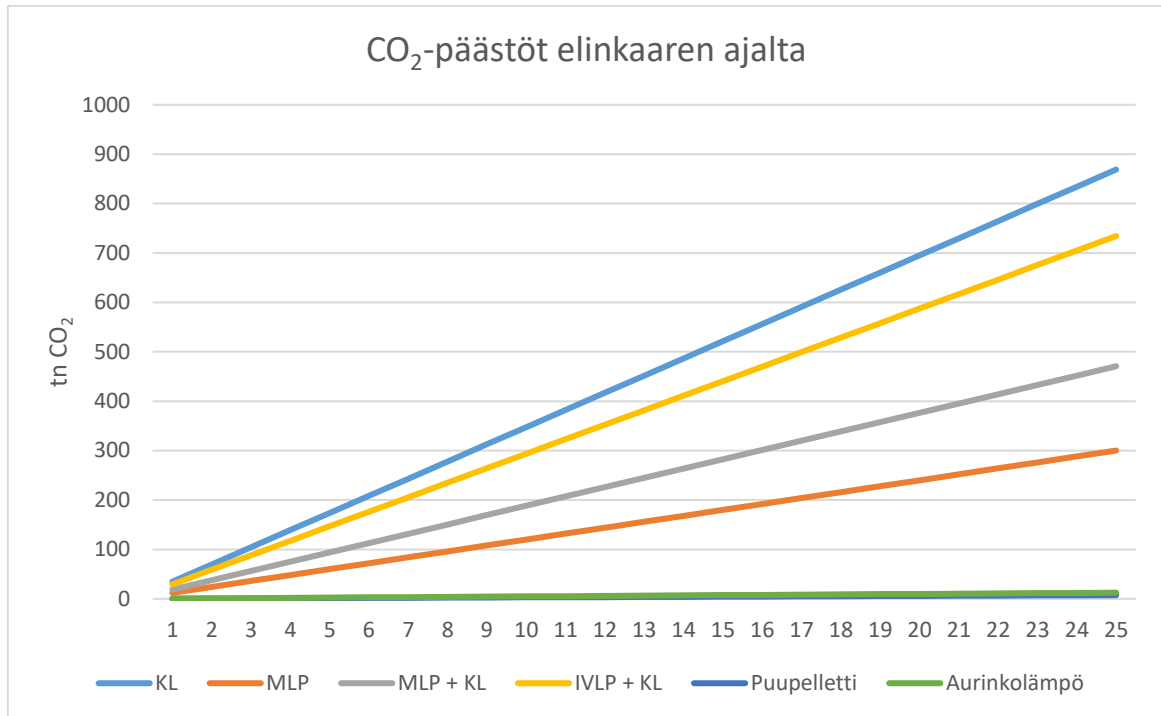
Kohteessa ei ole jäähdytystarvetta, joten kuvan 18 päästöt muodostuvat pelkästään lämmitysenergian käytöstä. Puupellettikattilan ja aurinkolämmön tuottamat hiilidioksidipäästöt ovat olemattomat, sillä tämän työn yhteydessä ei huomioida tuotannon ulkopuolisia päästöjä, kuten kuljetuksen ja laitteiston valmistusprosessissa aiheutuneita päästöjä. Erillisten pumppujen ja automatiikan kuluttama sähkö katsotaan kuuluvan kiinteistö sähköön.



Kuva 18. Järjestelmien hiilidioksidipäästöt vuoden ajalta

Kaukolämmön yhteydessä ilma-vesilämpöpumpun päästöt ovat noin 18% ja maalämpöjärjestelmän yhteydessä 44%. Pelkästään kaukolämpöjärjestelmään verrattuna hiilidioksidi päästöjä voitaisiin pienentää ilma-vesilämpöpumpun avulla noin 5,4 tn CO₂/vuosi ja maalämpöjärjestelmän yhteydessä 16 tn CO₂/vuosi. Molempien järjestelmien yhteydessä kaukolämpö muodostaa suuremman osuuden päästöistä ja pumppujen välinen ero aiheutuu maalämpöjärjestelmän suuremmasta tehoiteitosta. Kaukolämpö yksittäisenä järjestelmänä aiheuttaa eniten päästöjä.

Aurinkolämmön hyödyntäminen pienentää ostoenergiatarvetta, joka pienentää osaltaan rakennuksen hiilijalanjälkeä. Aurinkolämpöjärjestelmällä kohteessa voitaisiin korvata lämmitysenergian päästöjä vuoden 16 MWh:n edestä, joka tarkoittaisi kaukolämmön osalta päästöjen pienennystä noin 2,5 tn CO₂/vuosi ja lämpöpumppujen yhteydessä noin 1 tn CO₂/vuosi. Puupellettikattilan päästöt ovat 0 g/kWh, joten sen osalta ei säästöä päästöissäkään synny.



Kuva 19. Järjestelmien hiilidioksidipäästöt elinkaaren ajalta, kumulatiivinen

Kuvassa 19 esitetyt tulokset mukailevat hyvin pitkälti esimerkkikohteen 1 tuloksia, jossa kaukolämpö sekä muut ratkaisut sen yhteydessä tuottavat kaikista eniten kasvihuonepäästöjä. Maalämpö on päästöjä tuottavista järjestelmistä kaikista ympäristöystävällisin ja puupellettikattila kaikista järjestelmistä vähiten kasvihuonepäästöjä aiheuttava. Aurinkolämmön avulla voidaan pienentää päästöjä muiden paitsi pellettikattilan tapauksessa, mutta päästövähennys on kuitenkin vuositasolla niin pientä, että sillä ei ole vaikutusta järjestelmien järjestykseen taulukossa.

7 Johtopäätökset

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että paikallisesti toteutettu lämmitys- ja jäähdytysenergiantuotanto voi olla kannattavaa kaukolämpöön ja kaukokylmään verrattuna. Molemmissa esimerkkikohteissa kaukolämpö oli lämmitysjärjestelmistä kallein vaihtoehto ja maalämpö halvin 25 vuoden tarkastelujakson ajalla.

Elinkaarikustannuslaskelmien perusteella esimerkkikohteessa 1 maalämmön ja maakylmän käyttökustannuksen ovat huomattavasti pienemmät muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Tästä syystä maalämmön ja maakylmän yhteisjärjestelmä saavuttaa samat kokonaiskustannukset viimeistään noin kymmenen vuoden jälkeen, jonka jälkeen maalämpö ja maakylmä on muista vaihtoehtoista lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmäksi kaikista edullisin. Etenkin jäähdytysenergiaa tarvitsevilla rakennuksissa maakylmän hyödyntäminen edesauttaa maalämpöjärjestelmän kannattavuuteen, sillä investointikustannuksissa voidaan säästää muiden jäähdytysjärjestelmien investointikulut.

Hiilidioksidipäästöjen osalta puupellettikattila on kaikista ympäristöystävällisin vaihtoehto puupelletin päästökertoimen ollessa 0 g/kWh. Päälämmitysjärjestelmistä kaukolämmöllä taas suurimmat päästöt ja lämpöpumpuista maalämpöpumpulla alhaisimmat päästöt. Aurinkolämpöjärjestelmän avulla on mahdollista pienentää ostoenergiantarvetta, jolloin erot järjestelmien kesken pienentyvät ja rakennuksen energiatehokkuus parantuu.

Jäähdytysjärjestelmien aiheuttamissa päästöissä ei esimerkkikohteessa 1 muodostunut vuositason suuria eroja, johtuen vähäisestä jäähdytystarpeesta ja kaukojäähdytyksen alhaisesta päästökertoimesta. Vertailtavista jäähdytysjärjestelmistä kaukojäähdytyksestä aiheutuu eniten päästöjä muihin järjestelmiin nähden. Pitkän aikavälin tarkasteluissa ja suuren jäähdytystarpeen kohteissa erot kuitenkin korostuvat.

8 Yhteenveto

Työn yhtenä keskeisenä tavoitteena oli luoda työkalu lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien elinkaarikustannusten ja hiilidioksidipäästöjen vertailuun sekä analysointiin. Kehitystyön tuloksena saatiin työkalu, joka toteutettiin Microsoft Excel-tilukkolaskentaohjelmaa hyödyntäen. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien luontaisesta analysoinnin monimutkaisuudesta johtuen, käyttäjän olisi kuitenkin hyvä tuntea laskentamenetelmään sisältyvät pohjatiedot, periaatteet ja oletukset. Lisäksi monet muut tekijät vaikuttavat lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien valintaan. Tekniikan lisäksi on tarkasteltava ympäristöasioita, rakentamismääräyksiä, sertifiointeja ja muuta talotekniikkaa.

Tulosten perusteella lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien kannattavuus tulisi kuitenkin tutkia aina kohdekohtaisesti. Esimerkkikohteissa kaikki vertailun järjestelmät olivat elinkaarikustannuksiltaan halvempia pelkkään kaukolämpöön nähden, mutta se ei tarkoita, että kaikki kohteet saisivat saman kokoluokan säästöjä esimerkiksi maalämmöstä. Maalämpöön siirtyminen suuren alkuinvestoinnin vuoksi vaikuttaa yleisesti sitä kannattavammalta, mitä suurempi energiakulutus kohteessa on. Tällöin suhteelliset säästöt alkuinvestointiin nähden tulevat suuremmiksi ja ostoenergiasta aiheutuvien kulujen erot kasvavat pitkän aikavälin tarkasteluissa.

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien elinkaarikustannukset koostuvat pääasiassa ostoenergian aiheuttamista kuluista, joten ostoenergian hinnan kehityksellä on suuri vaikutus järjestelmien kannattavuuteen pitkällä aikavälillä. Mikäli tulevaisuudessa esimerkiksi sähkön hinta nousee reilusti suhteessa muihin energiamuotoihin nähden, voi muut vaihtoehdot tulla halvemmaksi ratkaisuksi. Työkalun jatkekehitysmahdollisuuksia voisi myös olla tulevaisuudessa uusien tuotantolaitosten lisääminen työkaluun sekä laajentaminen sähköntuotantojärjestelmiin.

Myös hiilidioksidipäästöjä vertailtaessa on huomioitava, että päästökertoimet tulevat laskemaan tulevaisuudessa EU:n energiatavoitteiden ohjaamana. Fossiilisia polttoaineita korvattaessa energiantuotannossa uusiutuvilla vaihtoehdoilla päästökertoimien laskun

lisäksi sen myötä saattaa myös aiheuttaa energiakustannuksien nousua. Tuotantolaitokset saattavat tarvita muutoksia laitteistoihin ja järjestelmiin tai mahdollisesti rakentamaan kokonaan uusia tuotantolaitoksia hiilineutraaliutta tavoitellessa. Tämä luultavasti aiheuttaa energiakustannusten nousua, joten energiahinnan kehitystä on vaikea arvioida tulevaisuudessa.

Lähteet

- Aittomäki, A. (2012). Kylmäteknikka. 4. painos. Porvoo: Suomen kylmäaineyhdistys ry. ISBN 978-95196449-7-4
- Auvinen, K ja muut. (2016). FinSolar: Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. Aalto-yliopiston julkaisusarja, kauppa + talous 1/2016. Noudettu 5-8-2019 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-6767-4>
- Energiateollisuus ry. (2017). Kaukoenergia kiinteistöjen ympäristöluokituksissa. Noudettu 12-6-2019 osoitteesta https://energia.fi/files/2096/Kaukoenergia_rakennusten_ymparistoluokituksissa_Loppuraportti.pdf
- Energiateollisuus ry. (2019). Energiavuosi 2018 - Kaukolämpö. Noudettu 19-6-2019 osoitteesta https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2018_-_kaukolampo.html#material-view
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31. Noudettu 27-5-2019 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2018/844. (2018a) Noudettu 23-5-2019 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=FI>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2018/2001. (2018b) Noudettu 23-5-2019 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2018/2002. (2018c) Noudettu 23-5-2019 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>
- Helen Oy. (2019). Helen Oy:n verkkosivujen materiaali. Noudettu 10-7-2019 osoitteesta <https://www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/sahkon-ja-lammon-ominaispaastot>
- Juvonen, J., Lapinlampi, T. (2013). Energiakaivo, maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Noudettu 5-7-2019 osoitteesta https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4
- Lahti, P., Lylykangas, K., Vainio, T. (2013). Ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus. Aalto-yliopiston julkaisusarja, tiede + teknologia 13/2013. Helsinki. ISSN 1799-4888. Noudettu 27-5-2019 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-5340-0>
- Motiva. (2010). Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla. Loppuraportti 12/2010. Noudettu 31-5-2019 osoitteesta

https://www.motiva.fi/files/7938/Selvitys_hajautetusta_ja_paikallisesta_energiantuotannosta_erilaisilla_asuinalueilla_Loppuraportti.pdf

Motiva. (2016). Viihtyisä työympäristö - Ilmastointi ja jäähdytys. Noudettu 20-8-2019 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/11023/Viihtyisa_tyoymparisto_Ilmastointi_ja_jaahdytys_2016.pdf

Motiva. (2018). Lämpöpumppujen hankintaopas - kunnat ja taloyhtiöt. Helsinki. Noudettu 23-7-2019 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiöt.pdf

Motiva. (2019a). Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artikloiden 14 ja 15 mukaisen vaihtoehtoisen menettelyn vaikutusarvio. Helsinki. Noudettu 27-5-2019 osoitteesta https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/0bef497c-6657-4081-99d6-968412282d46/6aaa4fad-4fd3-4a61-903a-4bef0303b3bc/RA-PORTTI_20190509075117.pdf

Motiva. (2019b). Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. Motiva Oy:n verkkosivujen materiaali. Noudettu 27-5-2019 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskei-not/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi

Motiva. (2019c). Uusiutuva energia - Bioenergia. Motiva Oy:n verkkosivujen materiaali. Noudettu 2-6-2019 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia

Motiva. (2019d). Uusiutuva energia - aurinkolämpöjärjestelmät. Motiva Oy:n verkkosivujen materiaali. Noudettu 2-6-2019 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat

Motiva. (2019e). Investointituet. Motiva Oy:n verkkosivujen materiaali. Noudettu 20-7-2019 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustointa/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/katselmus-_ja_investointituet/investointituet

Pöyry Oy. (2015). Kiinteistökohtaisen hajautetun energian tuotannon potentiaali Helsingissä. Noudettu 22-8-2019 osoitteesta <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/9d/9d03ce885409c36fff4f836ff30314d0f95bcb72.pdf>

Pöyry Oy. (2016). Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit. Helsinki. Noudettu 18-6-2019 osoitteesta <https://www.sitra.fi/julkaisut/kaksisuuntaisen-kaukolammon-liiketoimintamallit/>

Pöyry Oy. (2017). Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 5/2017. Noudettu 23-8-2019 osoitteesta

https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/5_2017_Hajautetun+uusiutuvan+energiantuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+n%C3%A4kym%C3%A4t+Suomessa/f7fa0126-2880-452d-954b-f52ea5f0a9a0/5_2017_Hajautetun+uusiutuvan+energiantuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+n%C3%A4kym%C3%A4t+Suomessa.pdf?version=1.0

Pöyry Oy. (2018). Älykäs kaupunkienergia. Noudettu 18-6-2019 osoitteesta https://energia.fi/files/2862/Alykas_kaupunkienergia_LOPPURAPORTTI_20180614.pdf

Rakennusvalvontavirasto. (2014). Pohjavesialue, Rakentamistapaohje tärkeälle pohjavesialueelle rakentamisesta. Helsingin kaupunki. Noudettu 16.7.2019 osoitteesta https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Pohjavesialueille_rakentaminen_liitteiden_2014.pdf

Tuomi, S. (2013). Selvitys rakennusten biokattilalämmittäjien energiatehookkuusneuvonnan toteuttamiseksi ja neuvonnan vaikutusten arvioimiseksi. Motiva. Noudettu 2-6-2019 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/9249/Selvitys_rakennusten_biokattilalämmittäjien_energiatehookkuusneuvonnan_toteuttamiseksi_ja_neuvonnan_vaikutusten_arvioimiseksi.pdf

SULPU, Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. (2018). Lämpöpumpputilasto 2018. Noudettu 24.6.2019 osoitteesta <https://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/Myydyt%20%C3%A4mp%C3%B6pumput%202018.pdf>

SULPU, Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. (2019). Lämpöpumput. Noudettu 24-6-2019 osoitteesta <https://www.sulpu.fi/lampopumput>

Sweco talotekniikka Oy. (2017). Espoon pohjois- ja keskiosien yleiskaava ja aluetyyppi-kohtaiset energiaratkaisut. Espoon kaupunkisuunnittelukeskuksen julkaisuja 4/2017. Noudettu 25-6-2019 osoitteesta <https://www.espoo.fi/download/name/%7BAED295B5-ED73-47F3-848D-44848A2B5FA7%7D/86061>

Tilastokeskus. (2018). Energian hankinta ja kulutus. ISSN 1799-795. 4. Vuosineljännes 2018. Helsinki. Noudettu 22-5-2019 osoitteesta https://tilastokeskus.fi/til/ehk/2018/04/ehk_2018_04_2019-03-28_fi.pdf

Tilastokeskus. (2019a). Energian hinnat. ISSN 1799-7984. 2. vuosineljännes. Noudettu 7-10-2019 osoitteesta http://www.stat.fi/til/ehi/2019/02/ehi_2019_02_2019-09-12_fi.pdf

Tilastokeskus. (2019b). Polttoaineluokitus 2019. Tilastokeskuksen verkkosivut. Noudettu 7-10-2019 osoitteesta https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2015). FInZEB loppuraportti. Noudettu 23-5-2019 osoitteesta https://tem.fi/documents/1410877/2735615/FInZEB_loppuraportti.pdf/6527928a-809b-4870-9e3e-425fe26c15d1

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2017). Tulevaisuuden energia 2030...2050. Tekesin katsaus 332/2017. Helsinki. Noudettu 3-6-2019 osoitteesta https://tem.fi/documents/1410877/2772829/332_2017_Tulevaisuuden+energia_2030_2050.pdf/4f1c0ec0-58fc-4c1c-9297-7f90ac01615b

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2019). Energia- ja ilmastotavoitteet strategiatyön taustalla. Noudettu 27-5-2019 osoitteesta <https://tem.fi/energia-ja-ilmastotavoitteet>

Uudenmaan liitto. (2017). Uudenmaan aurinkoenergieselvitys. Aurinkoenergian tuotannon edistämisen mahdollisuudet Uudellamaalla. Noudettu 23-8-2019 osoitteesta https://www.uudenmaanliitto.fi/files/21285/Uudenmaan_aurinkoenergieselvitys_%28E193-2017%29.pdf

Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 4/2017. (2017a). Helsinki. Noudettu 27-5-2019 osoitteesta <https://valtioneuvosto.fi/documents/1410877/3506436/Valtioneuvoston+selonteko+kansallisesta+energia-+ja+ilmastostrategiasta+vuoteen+2030.pdf>

Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista. (2017b). 778/2017. Helsinki. Noudettu 28-5-2019 osoitteesta <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20170788.pdf>

Vinha, J ja muut. (2019). Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service building (COMBI), tutkimushankkeen johdanto- ja yhteenvetoraportti. ISBN 978-952-15-4306-7. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4306-7>

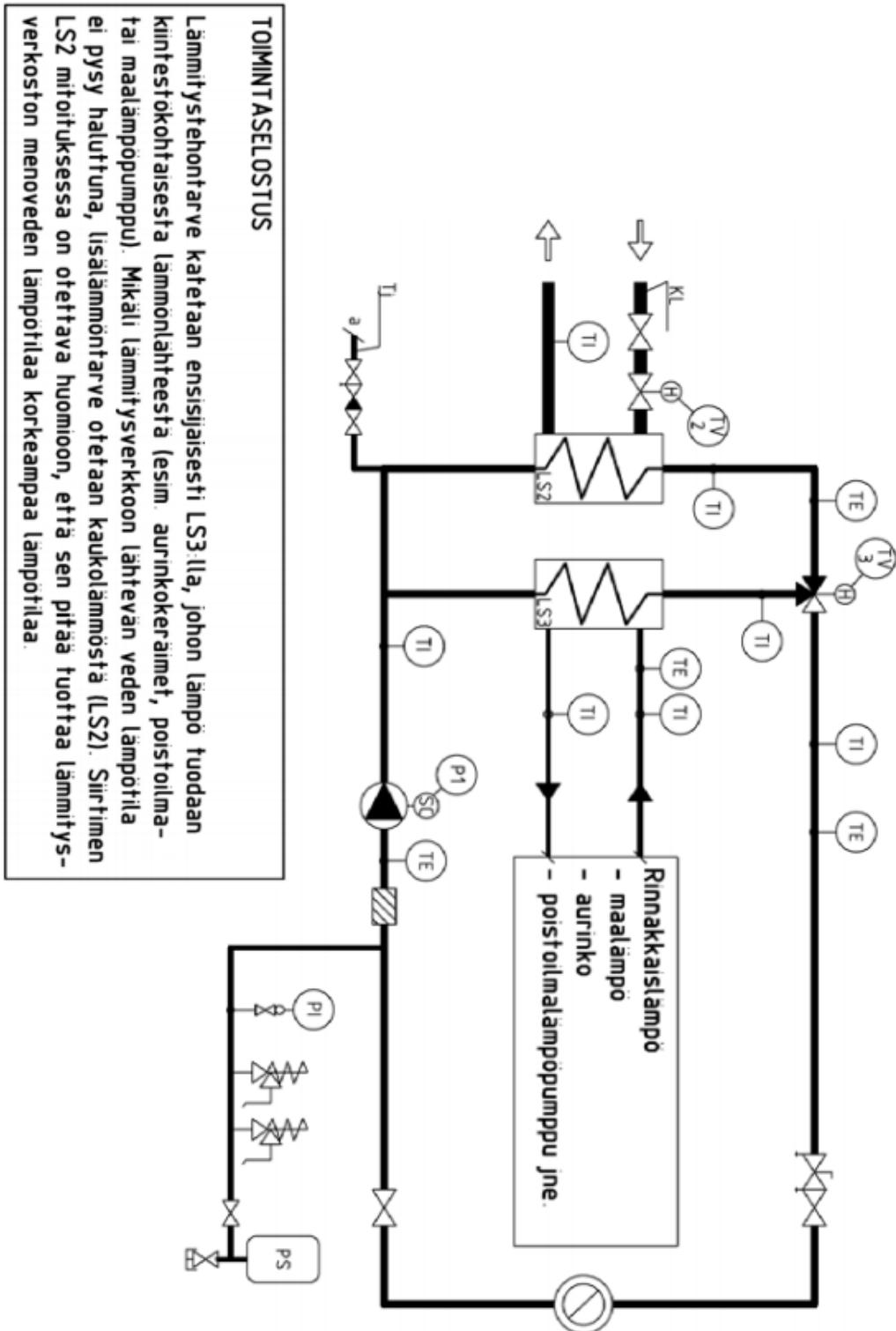
Ympäristöministeriö. (2015). Ilmastotavoitteita edistävä kaavoitus, Suomen ympäristö 3. Edita Prima oy. Helsinki. ISSN 1796-1637. Noudettu 6-6-2019 osoitteesta <http://hdl.handle.net/10138/154436>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. (2017a). Helsinki. Noudettu 28-5-2019 osoitteesta <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20171010.pdf>

Ympäristöministeriö (2017b). Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet, 2018. Noudettu 3-6-2019 osoitteesta <https://www.ym.fi/download/noname/%7BD5FC56F1D-7C3A-404A-8E4F-4A77DE4C04F7%7D/133701>

Liitteet

Liite 1. Rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä tilojen lämmitykseen



Liite 2. Rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä käyttöveden lämmitykseen

